

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA



PROYECTO DE FIN DE CARRERA

DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN ARCO DE SEGURIDAD DESTINADO A LA COMPETICIÓN

AUTOR: Miguel García Martín

DIRECTOR: Juan Carlos García Prada

Leganés a 26 de octubre de 2009



Agradecimientos:

A mi familia, en especial a mis padres por el apoyo y comprensión que me han mostrado estos años y sobre todo ahora.

A todas las personas que, de una u otra manera, me han ayudado para que este proyecto de fin de carrera saliera adelante.



ÍNDICE:

1 – OBJETIVOS	6
2 – INTRODUCCIÓN	7
2.1 – ROPA IGNÍFUGA	10
2.2 – CASCO	11
2.3 – HANS	12
2.4 – BACQUETS	13
2.5 – ARNESES	13
3 – HISTORIA Y CLASIFICACIÓN	14
3.1 – CLASIFICACIÓN	16
4 – DESARROLLO	17
4.1 – MATERIAL	17
4.2 – DIÁMETRO Y ESPESOR DE LOS TUBOS	20
4.3 – MODELADO Y ANÁLISIS	20
4.3.1 – ETAPAS DEL MODELADO	21
4.3.1.1 – SEMIARCOS LATERALES	21
4.3.1.2 – ARCO PRINCIPAL	25
4.3.1.3 – BARRAS DE PROTECCIÓN EN PUERTAS	28
4.3.1.4 – TIRANTES TRASEROS	29
4.3.1.5 – BARRA TRANSVERSAL FRONTAL	31
4.3.1.6 – BARRA DIAGONAL TRASERA	31
4.4 – ANÁLISIS	33
4.4.1 – CONSIDERACIONES INICIALES	36
4.4.2 – CÓMO CREAR EL CONJUNTO	38
4.4.3 – CONDICIONES INICIALES Y DE CONTORNO	41
4.4.4 – ENTORNO SOLIDWORKS SIMULATION	41
4.4.4.1 – CONDICIONES DE CONTORNO	42
4.4.4.2 – MATERIALES	43
4.4.4.3 – MALLADO	44



5 – RESULTADOS.....	45
5.1 – DISEÑO 1.....	45
5.1.1 – ENSAYO 1.....	45
5.1.1.1 – TENSIONES.....	45
5.1.1.2 – DESPLAZAMIENTOS.....	46
5.1.2 – ENSAYO 2.1.....	47
5.1.2.1 – TENSIONES.....	47
5.1.3 – ENSAYO 2.2.....	48
5.1.3.1 – TENSIONES.....	48
5.2 – DISEÑO 2.....	49
5.2.1 – ENSAYO 2.1.....	50
5.2.1.1 – TENSIONES.....	50
5.3 – DISEÑO 3.....	52
5.3.1 – ENSAYO 2.1.....	53
5.3.1.1 – TENSIONES.....	53
5.3.1.2 – DESPLAZAMIENTOS.....	54
5.3.2 – ENSAYO 2.2.....	54
5.3.2.1 – TENSIONES.....	54
5.4 – DISEÑO 4.....	56
5.4.1 – ENSAYO 2.2.....	57
5.4.1.1 – TENSIONES.....	57
5.5 – DISEÑO 5.....	58
5.5.1 – ENSAYO 2.2.....	59
5.5.1.1 – TENSIONES.....	59
5.5.1.2 – DESPLAZAMIENTOS.....	60
5.5.2 – ENSAYO 1.....	61
5.5.2.1 – TENSIONES.....	61
5.5.2.2 – DESPLAZAMIENTOS.....	62
5.5.3 – ENSAYO 2.1.....	63
5.5.3.1 – TENSIONES.....	63
5.5.3.2 – DESPLAZAMIENTOS.....	64
5.6 – IMÁGENES DE LA ESTRUCTURA FINAL.....	66
6 – PRESUPUESTO.....	67
7 – CONCLUSIONES FINALES.....	68



8 – TRABAJOS FUTUROS.....	69
9 – BIBLIOGRAFÍA.....	70
10 – WEBS VISITADAS.....	71

ANEXOS.

ANEXO 1 – HOJA ESTÁNDAR DE HOMOLOGACIÓN.....	72
ANEXO 2 – ARTÍCULO 253-2009 EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD – ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD	74



1 - OBJETIVOS

1.- Realizar el **diseño de una estructura de seguridad soldada** para un **CITROEN SAXO** o, en su defecto, **PEUGEOT 106** (comparten la misma carrocería). Al ser un diseño nuevo habrá que seguir al pie de la letra las diferentes condiciones que marque la normativa FIA para estructuras de seguridad. Esta jaula está pensada para aquellos participantes que deseen disponer de un arco con un alto nivel de seguridad y rigidez. No es el objetivo llegar a los niveles de las estructuras más complejas, sino la de dar una alternativa que no sea o blanco o negro, como pasa actualmente.

2.- Como el modelado se realizará con el programa de diseño **SOLIDWORKS 2009 PREMIUM** (Dassault Systèmes) y su posterior análisis con su paquete de elementos finitos **SOLIDWORKS SIMULATION**, llamado **COSMOSWORKS** en versiones anteriores, aprovecharé para explicar paso a paso, a modo de tutorial:

- a) Las diferentes herramientas de modelado necesarias para llevar a cabo nuestros diseños.
- b) Los pasos necesarios que hay que seguir para realizar análisis estáticos de conjuntos en Solidworks Simulation/Cosmosworks.

2 – INTRODUCCIÓN

El mundo del automovilismo de competición ha sufrido, en los últimos 30 años, una evolución espectacular tanto en la tecnología y sofisticación de los diferentes vehículos utilizados (turismos y monoplazas) como en la proliferación y “popularización” de varias modalidades deportivas. Ésto ha provocado que el número de licencias de deportistas expedidas por las diferentes federaciones nacionales haya crecido exponencialmente.



Figura 1: Seat 124 (años 70)

Aunque pudiera parecer extraño, cuando el automovilismo empezaba a dar los primeros pasos serios (a partir de los años 70) en cuanto a la evolución de las mecánicas, ésta no iba acompañada con una evolución de la seguridad acorde con las nuevas exigencias que parecían demandar las nuevas prestaciones de los coches de competición. El punto máximo de esta divergencia de tendencias se dio a mediados de los años 80, en la era de los GRUPO B.

Ésta se caracterizó por la total libertad de la que disponían los ingenieros para llevar al máximo el desarrollo de sus coches, llegando a creaciones de coches con más de 400 caballos de potencia y apenas 800kg de peso (chasis tubulares, carrocerías de plásticos y fibras).

Una frase de Walter Rhorl, piloto campeón del mundo de rallys y que condujo una de estas máquinas, nos arroja los siguientes datos: *"El Evo2 aceleraba de 0 a 100km/h en 2,6seg y en 10seg llegaba a 200km/h en unos 359 metros. A veces, incluso, llegaba a meterme miedo cuando soltaba el embrague a 4500rpm; salía como una honda expansiva de una explosión. Sin embargo, en cuanto comenzaba a conducir ese monstruo, cualquier temor desaparecía y sentía una sensación de euforia..."*.



Figura 2: Lancia Delta S4 Gr.B

Lo que para la gran mayoría de los aficionados fue la época dorada de los rallys, para la seguridad de los participantes fue la más negra de su historia.

La sucesión de los accidentes mortales de Bettega (Rally de Córcega de 1985) y Henri Toivonen (Rally de Córcega de 1986) sumado al trágico incidente ocurrido en el Rally de Portugal de 1986 donde fallecieron varios espectadores, llevó a la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) a tomar una seria decisión, PROHIBIR LOS GRB y hacer más hincapié en la seguridad tanto de los participantes como de los espectadores.

Así aparecieron los nuevos coches (Grupo A) a partir de los cuales se evolucionó a los que se encuentran disputando ahora mismo el Campeonato de Mundo de Rallys. Y, a partir de la aparición de los GR.A, la evolución mecánica y la de la seguridad comenzaron a ir de la mano, llegando a la actualidad a coches con unas prestaciones espectaculares y con unas normativas de seguridad muy severas que se han de cumplir a rajatabla.



Figura 3: Lancia Delta GR A



Figura 4: Actual WRC

Es por ello que creo necesario hacer un pequeño repaso a modo de introducción de todos los elementos que velan por la seguridad de los participantes.

2.1 - ROPA IGNÍFUGA

Regida por la norma FIA STANDARD 8856-2000.

Es el principal elemento de protección frente al fuego del que disponen los pilotos. Está confeccionada con tejido NOMEX (derivado de la aramida). No sólo se usan monos ignífugos, de 2 ó 3 capas, sino que también hay que usar ropa interior (calzones, camiseta, calcetines y sotocasco), botines y guantes (opcionales en el caso del copiloto) también ignífugos. El conjunto completo puede llegar a soportar una exposición directa al fuego de, alrededor, 30 segundos.



Figura 5: Equipación obligatoria para los pilotos.

2.2 - CASCO

Regido por varios estándares de calidad:

- Snell 2000/2005
- Snell 2000
- BSI 6658 - 1985
- FIA 8860 - 2004

Es la única protección de la que disponen los pilotos para la cabeza. Su normativa de fabricación es muy estricta ya que tienen que garantizar que no se producirá ningún tipo de fisura al recibir un impacto. También han de estar forrados de tejido ignífugo nomex.

Pueden ser abiertos o cerrados (la norma no dice nada al respecto) y su principal rasgo diferenciador de un casco convencional es el equipo de intercomunicación que tienen instalado.



Figura 6: Casco abierto

Los más modernos están fabricados con fibra de carbono, haciéndoles muy ligeros a la par que resistentes. Esta “fibra de carbono” es un tipo de materiales compuestos en los que se combinan un refuerzo de carbono y una matriz también carbonosa (resinas, polímeros o breas, con las que primero se impregna la fibra y luego se carboniza, en un horno autoclave, para dar lugar a esta matriz). Este tipo de materiales se caracterizan por ser ligeros, con altas prestaciones mecánicas, alta resistencia térmica y muy inertes ante la mayoría de agentes químicos.



Figura 7: Casco cerrado de carbono

2.3 - HANS

Regido por la normativa 8858 - 2002

Es un dispositivo de muy reciente uso. Comenzó a emplearse en la fórmula CART americana en el año 2000, haciéndose obligatorio en 2001. Más tarde se unió la F1 y el WRC. En España se hizo obligatorio en competiciones de turismo en 2008.

Está fabricado enteramente de carbono.

Su principal función es la de evitar los movimientos tan bruscos que sufre la cabeza al tener un choque frontal o lateral. Todos recordamos accidentes como los de Kubica (GP Canadá 2007) o Ralf Schumacher (GP EEUU 2004) en los cuales los pilotos, según los expertos, salvaron la vida gracias a este elemento.

El doctor Hubbard propone el siguiente ejemplo para comprobar la efectividad del HANS. Antes, debemos saber que el cuello sufre lesiones al tensarse y recibir un peso mayor a 317Kg y al moverse en todo su espectro por el efecto látigo a 335Kg. Sin el HANS, el cuello recibe una fuerza de 553Kg por tensión y 703Kg por movimiento en un accidente a 130Km/. Esto provocaría lesiones leves en el cuello del conductor. Ahora bien, con el HANS el peso a soportar en el accidente sería de solo 95 y 133 Kg, respectivamente. Es decir, la cabeza se mantiene prácticamente estática, ya que no recibe fuerza ni peso. Este accidente no produciría ninguna lesión.



Figura 8: Hans

2.4 - ASIENTOS DEPORTIVOS TIPO BACQUET

Regido por la norma FIA 8855 – 1999
Caducan a los 5 años de ser fabricados.

Su función principal es la de “abrazar” por completo el cuerpo del piloto, para así conseguir que esté lo más fijo posible tanto en el transcurso normal de la competición como en el caso de producirse un accidente.

Su estructura puede ser tubular de acero o puede estar completamente fabricada en diferentes fibras (vidrio, kevlar, carbono, etc)

Es importante que se mantienen completamente fijos en la carrocería del coche, no pudiendo ser regulados de manera inmediata al igual que ocurre con los asientos convencionales que equipan los coches de calle. Tampoco tienen regulación de inclinación.



Figura 9: Bacquet de fibra

2.5 - ARNÉS

Regido por la normativa FIA 8853 – 98
Caducan a los 5 años de ser fabricados.

Los coches de competición llevan unos cinturones de seguridad especiales. Se llaman arneses y pueden ser de 4 ó de 6 puntos. El cierre que disponen es del denominado “aeronáutico”, es decir, de apertura rápida. Los arneses centrales van sujetos en unas barras traseras extras que se añaden al arco antivuelco, y los laterales van anclados a la carrocería

Como curiosidad cabe comentar que en caso de que un equipo sufra un accidente un comisario deberá cortar los arneses para asegurarse de que no vuelvan a ser usados.



Figura 10: Arnés de 6 puntos

Tras esta pequeña introducción, de los diferentes elementos de seguridad obligatorios, por fin vamos a empezar a entrar en materia y los diferentes aspectos de las jaulas antivuelco (historia, materiales, diseño, programas utilizados para el diseño y análisis, etc.) y nuestro proyecto monopolizarán el desarrollo del estudio.

3 – HISTORIA Y CLASIFICACIÓN.

Los arcos de seguridad se han convertido en el elemento más importante y determinante a la hora de salvaguardar la integridad física de los ocupantes de un coche de competición en caso de accidente.

La evolución de éstos en los últimos 20 años ha sido espectacular. Se ha pasado de colocar cuatro barras escasas a auténticas joyas de ingeniería que llevan detrás profundos estudios de ligereza, materiales, resistencia, rigidez, etc.

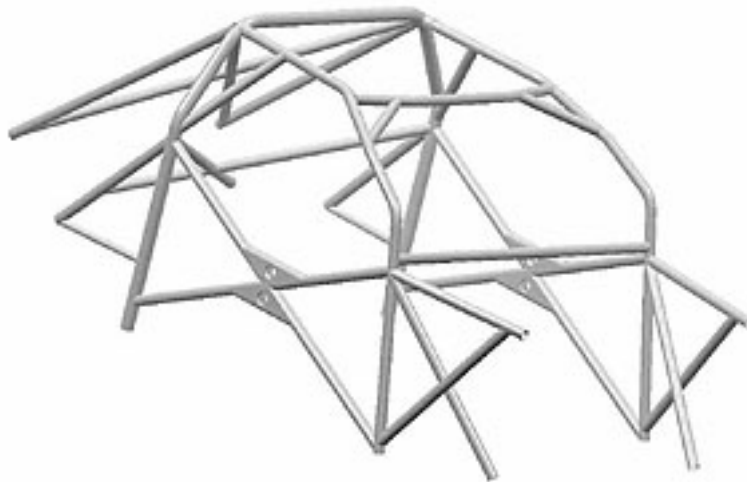


Figura 11: Arco de seguridad complejo

Las funciones de estas estructuras de seguridad son, principalmente, dos. Una de ellas es la de aportar rigidez al conjunto, evitando los balanceos de la carrocería y así aportar una mayor eficacia a la hora de tomar las curvas; la otra es la más importante de todas, mantener “íntacto” el habitáculo dónde se

encuentran situados los pilotos evitando las deformaciones excesivas de la carrocería.

Los casos más recientes en los que hemos podido apreciar la efectividad de estos elementos han sido: el accidente en el Rally de Portugal de Jari Matti Latvala, piloto oficial de Ford en el mundial de rallies, el cual cayó por un terraplén de unos 100 metros dando 20 vueltas de campana; y el accidente de Sebastien Loeb en el rally de Grecia, donde salió despedido y terminó dando 6 vueltas de campana a elevada velocidad.

En ambos casos el coche quedó completamente destrozado, pero el habitáculo se mantuvo “intacto”. Las barras sufrieron deformaciones, pero no lo suficientemente grandes como para poner en peligro la integridad física de los pilotos.



Figuras 12 y 13: Accidentes de Loeb y Latvala.

3.1 - CLASIFICACIÓN

Se pueden agrupar en dos grandes grupos:

- Arcos de seguridad atornillados: Son bastante baratos y de fácil montaje/desmontaje, pero dejan bastante que desear tanto en rigidez del conjunto como en la seguridad de los participantes. Suelen ser usados por los equipos más modestos en los distintos campeonatos regionales.



Figura 14: Detalle de arco atornillado

- Arcos de seguridad soldados: Éstos son mucho más rígidos que los primeros por lo que mejoran tanto la efectividad del vehículo en el paso por curva como la seguridad de los ocupantes. TODOS los equipos punteros (tanto regionales, nacionales e internacionales) y que no ponen precio a su vida van equipados con estas barras.



Figura 15: Arco de seguridad soldado

4 - DESARROLLO

Aquí empieza el desarrollo propiamente dicho. Lo primero que hay que hacer es elegir el material que usaremos. Es absolutamente necesario elegir el material a priori porque las propiedades mecánicas determinarán los desplazamientos y deformaciones de la estructura.

4.1 - MATERIAL

La normativa de la RFEDA (Real Federación Española de Automovilismo) en su apartado 8.3.3 – Especificaciones del material indica que el material a usar debe tener una resistencia mínima a la tracción de 350MPa. Se utilizará el acero al cromo molibdeno (25CrMo4) que es de los considerados de alta resistencia. Es conveniente conocer la influencia del cromo y del molibdeno en la aleación.

-Influencia del cromo: Es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidables y en los de resistencia en caliente. Se emplea en cantidades diversas desde 0,30 a 30 %, según los casos, y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple y aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidabilidad, etc.

Los aceros con cromo son:

1.º Aceros de construcción, de gran resistencia mecánica con 0,50 a 1,50 % de cromo y 0,30 a 0,45 % de carbono, aleados según los casos, con níquel y molibdeno para piezas de gran espesor, con resistencias variables de 70 a 150 kg/mm².

2º Aceros de cementación con 0,50 a 1,50 % de cromo y 0,10 a 1,25 % de carbono, aleados con níquel y molibdeno.

3º Aceros de nitruración cromo-aluminio-molibdeno.

4° Aceros para muelles cromo-vanadio y cromo-silicio.

5° Aceros para herramientas, con 0,30 a 1,50 % de cromo y 0,70 a 1,50 % de carbono. En ellos el cromo mejora la penetración de temple, la resistencia al desgaste, permite el temple en aceite y evita deformaciones y grietas.

6° Aceros indeformables con 5 y 12 % cromo.

7° Aceros rápidos y de trabajos en caliente.

8° Aceros inoxidable martensíticos con 12 y 17 % de cromo, aceros austeníticos con 14 a 25 % y aceros inoxidable férricos con 27 % de cromo.

- Influencia del Molibdeno: Es un elemento de uso relativamente reciente. Mejora notablemente algunas propiedades de los aceros.

Este elemento mejora notablemente la resistencia a la tracción y la templabilidad.

El molibdeno aumenta también la resistencia de los aceros en caliente y reemplaza al wolframio en la fabricación de los aceros rápidos, pudiéndose emplear para las mismas aplicaciones aproximadamente una parte de molibdeno por cada dos de wolframio.

Los aceros al molibdeno más utilizados son:

1° Aceros manganeso-molibdeno, cromo-molibdeno y cromo-níquel-molibdeno de bajo contenido en carbono para cementación, y de 0,15 a 0,40 % de carbono para piezas de gran resistencia.

2° Aceros rápidos con 6 a 10 % de molibdeno; son de utilización relativamente parecida a los aceros rápidos al wolframio, pero en ellos el wolframio es sustituido por el molibdeno.



3° Aceros de 0,50 a 6 % de molibdeno que se emplean principalmente para construcciones metálicas, tuberías e instalaciones en refinerías de petróleo, en las que llegan a calentarse de 100° a 300° y deben resistir bien el efecto de esos calentamientos relativamente moderados.

PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL 25CrMo4	
Densidad	7850Kg/m³
Módulo de Young	205000MPa
Límite de Tensión	900 – 1100MPa
Límite elástico	695MPa
Elongación	12%
Resistencia al impacto	0,7 J/cm
Temperatura de fusión	1500°C

Tabla 1: Principales propiedades del 25CrMo4

4.2 - DIÁMETRO Y ESPESOR DE LOS TUBOS

Una vez está definido el material el siguiente paso es el de establecer el diámetro de los tubos. Siguiendo la normativa FIA selecciono las siguientes configuraciones:

- **Arco principal: 50x2mm**
- **Semiarcos laterales y otras partes de la estructura: 40x2mm**

4.3 - MODELADO Y ANÁLISIS

Dentro de las tres opciones que presenta la normativa FIA he escogido la consistente en:


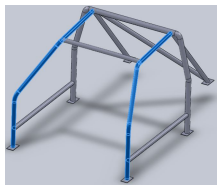


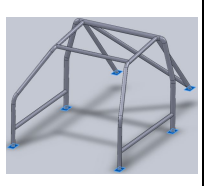
1 arco principal	2 semiarcos laterales	1 miembro transversal	2 tirantes traseros	6 pies de anclaje
				

Tabla 2: Diferentes partes de la estructura

A esto le sumaremos una diagonal entre tirantes y dos barras simples en puertas para la protección en caso de impacto lateral.

4.3.1 - ETAPAS DEL MODELADO

Comenzaré explicando, paso por paso, las etapas del modelado correspondiente al diseño inicial para que alguien que nunca haya usado Solidworks se familiarice con los comandos y le pueda servir de herramienta para un futuro trabajo.

- Lo primero que hay que hacer es generar un nuevo documento:
Archivo → Nuevo → Pieza

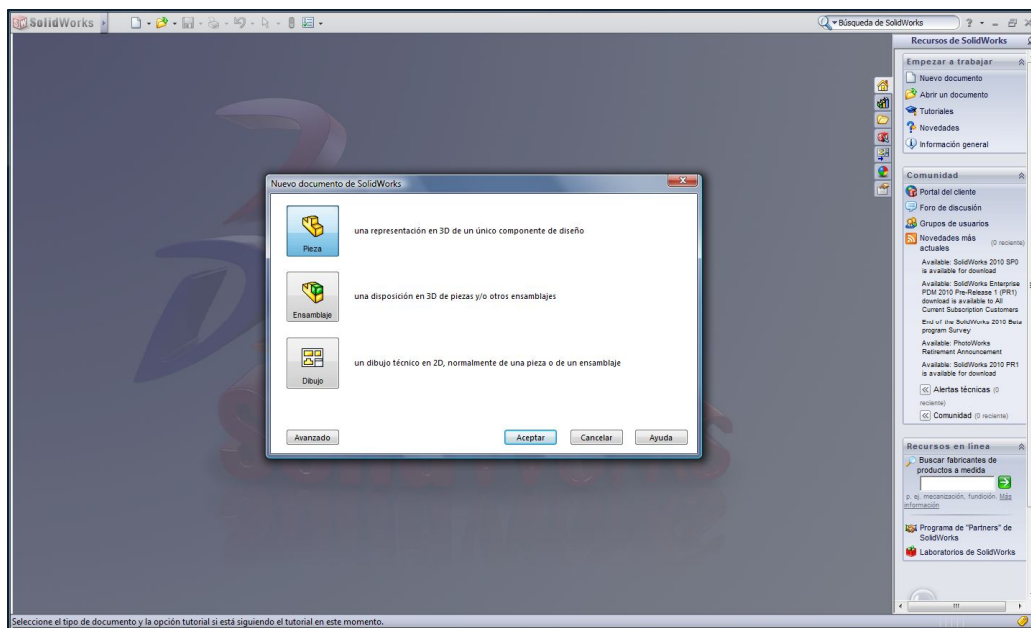


Figura 16: Ventana para crear un nuevo archivo.

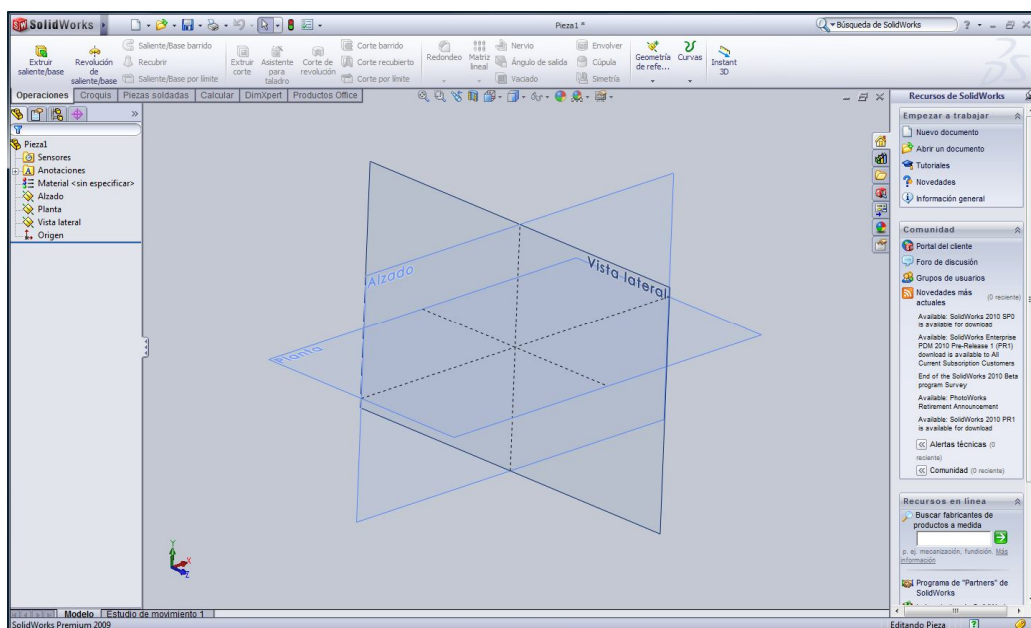


Figura 17: Entorno pieza.

4.3.1.1 - Semiarcos laterales.

Hay que destacar que éstos son un único tubo que tiene diferentes doblados, que generarán varios cambios de planos, por lo que no podremos usar la herramienta “extruir saliente/base” y habrá que usar “saliente base/barrido”. Lo primero de todo es generar la trayectoria. Para ello se generarán una serie de puntos significativos que serán unidos mediante una línea.

Activar pestaña croquis → Croquis 3D → Punto



Una vez hayamos activado el comando “punto” nos aparecerá un lapicero con el cual se fijarán los puntos significativos.

Hacemos click en cualquier lugar del espacio y aparece un menú a la izquierda donde se indican las coordenadas exactas del punto.

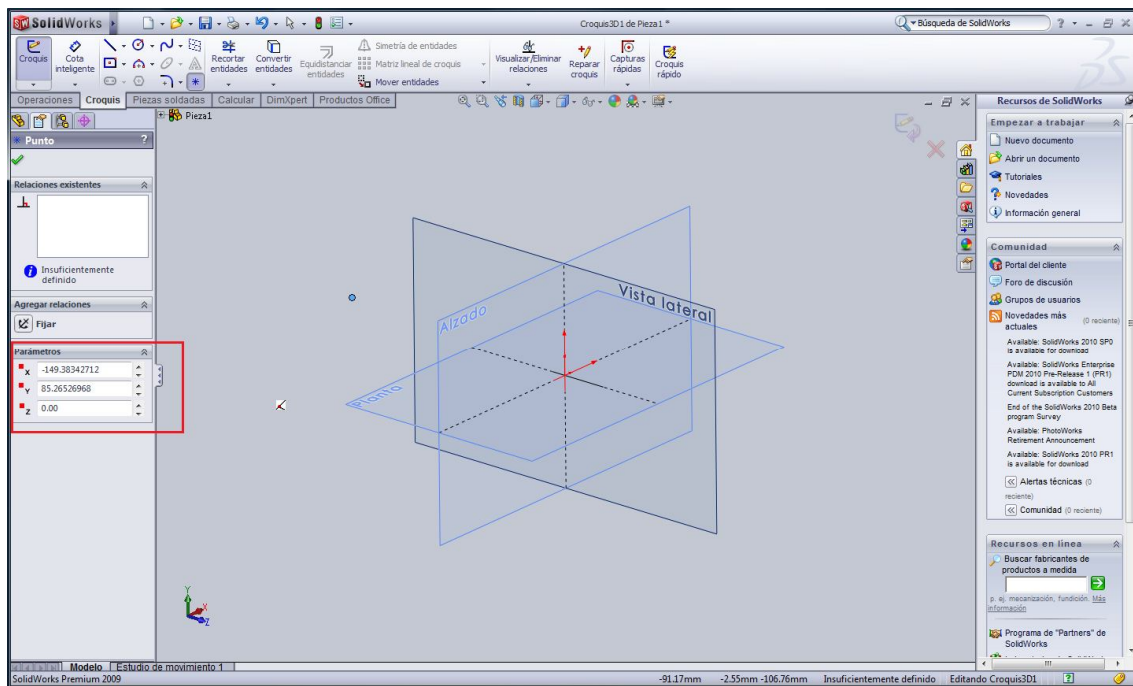




Figura 18: Entorno croquis 3D

Se continúa haciendo esto hasta que tenemos todos los puntos necesarios definidos. Es necesario comentar que el punto correspondiente a la parte más baja de la estructura esté situado en el plano “planta”, prefijado por el programa, ya que nos servirá de ayuda en futuras operaciones.

El siguiente paso es unir estos puntos para generar la trayectoria final.

Hay que seguir en el entorno croquis, donde activamos el comando línea 

De forma consecutiva hay que asignar los radios de acuerdo:

Sin salir del entorno croquis activamos el comando “redondeo de croquis” 

En el menú de la izquierda seleccionamos los parámetros de redondeo. Una vez que tenemos todo esto lo que hay que hacer es clicar en las parejas de líneas entre las cuales queremos que haya radio de acuerdo.

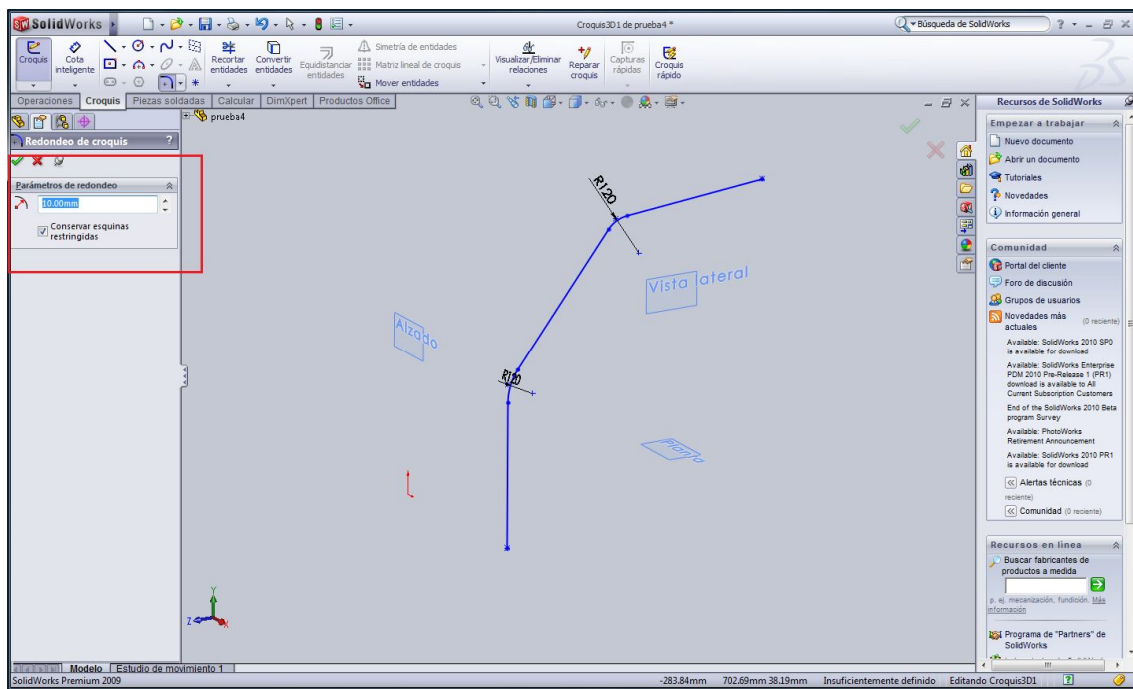



Figura 19: Trayectoria

Una vez que tengamos la trayectoria completamente definida salimos del croquis.

Ahora hay que croquizar la sección que se barrerá a través de la trayectoria. Para ello hay clicamos en Croquis (ojo, ahora no hay que hacer Croquis 3D). Seleccionamos el plano “planta”.

Dentro del entorno croquis → círculo → círculo según centro.

Hacemos que sea coincidente el centro del círculo con el comienzo de la trayectoria anteriormente definida situando el ratón justo encima de ésta: 

Pinchamos y movemos el ratón. Se generará un círculo de un diámetro cualquiera → Acotamos para establecer el diámetro deseado (40mm)



cualquiera → Acotamos para establecer el diámetro deseado (40mm)

Una vez que ya tenemos definido el diámetro del tubo hay que establecer el



espesor, que realizaremos usando el comando “equidistar entidades”

En el menú lateral se indica la distancia y hay que activar: “agregar cotas”, “invertir dirección” y “seleccionar cadena”. Tras aceptar se obtiene el siguiente resultado:

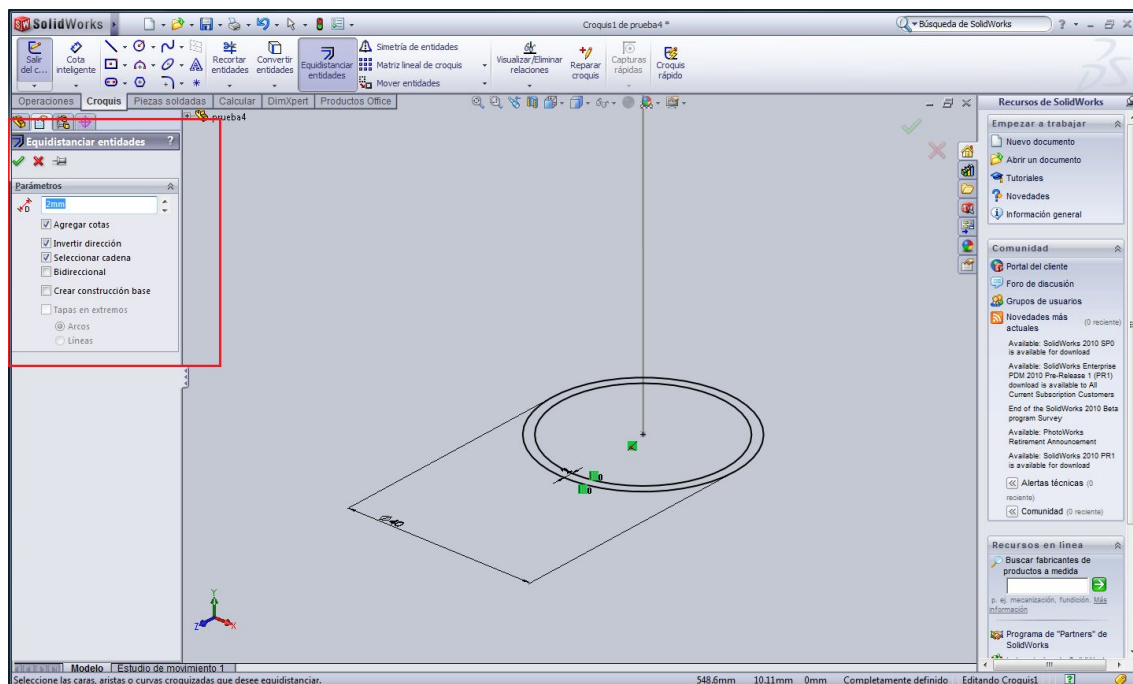



Figura 20: Croquis de la sección del tubo.

Salir del croquis →  Saliente/Base barrido

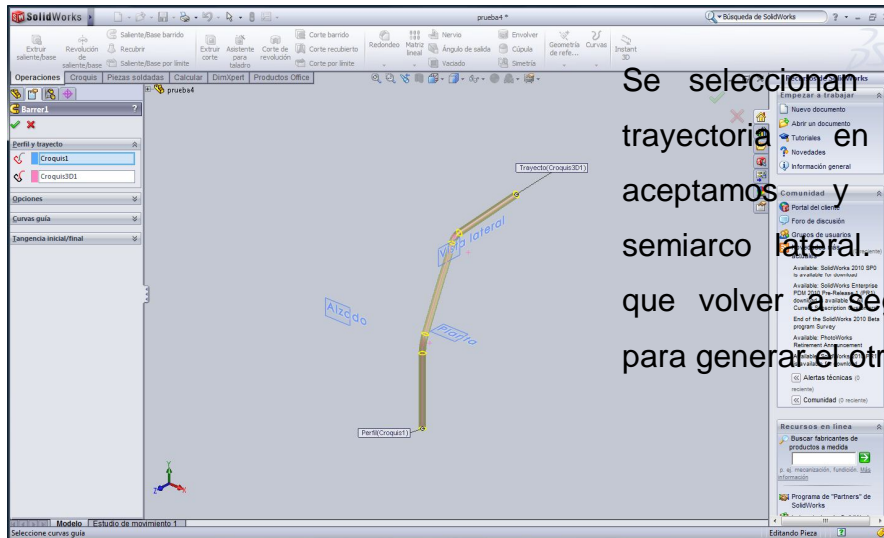


Figura 21: Resultado del barrido.

4.3.1.2 - Arco principal.

Se generará mediante la operación Saliente/Base barrido. Primeramente creamos un plano auxiliar dónde definiremos la trayectoria a seguir.

Activamos la pestaña croquis → Plano → Aparece la siguiente ventana:

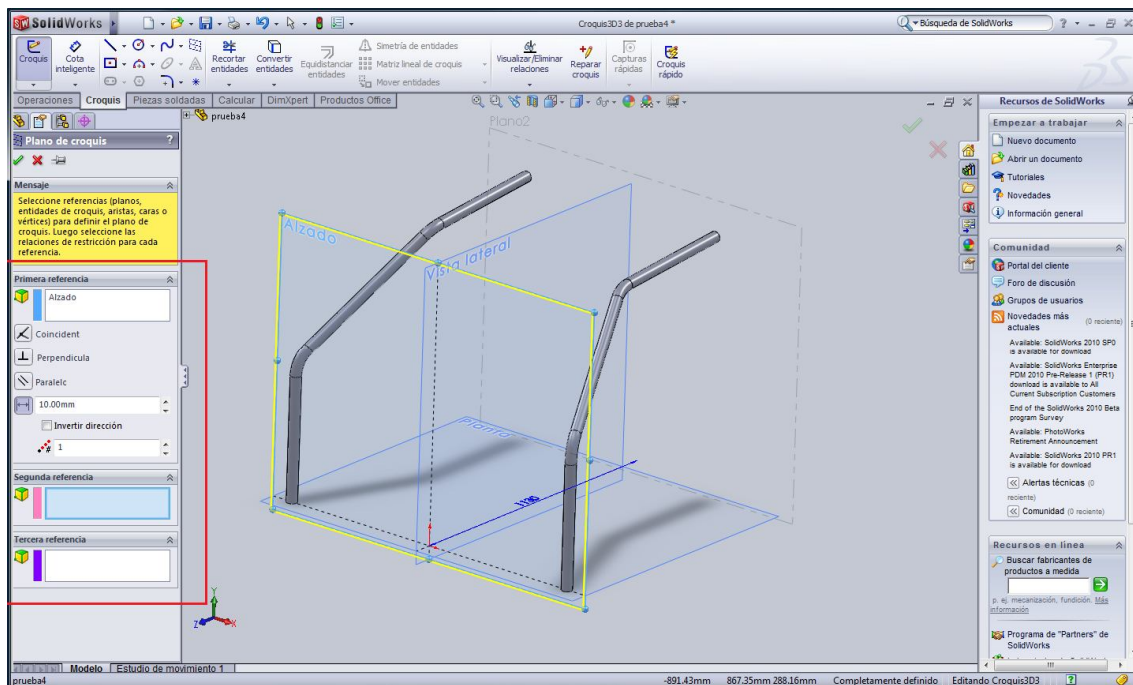


Figura 22: Crear un nuevo plano.

Pinchamos en el plano que nos servirá de referencia. En este caso es el alzado y activamos la opción “distancia”, donde se introduce a la que estará el nuevo plano del de referencia. En este caso 1130mm

Una vez que está definido el nuevo plano hay que volver a hacer lo mismo que para la creación de los semiarcos laterales: dibujar la trayectoria y la sección:

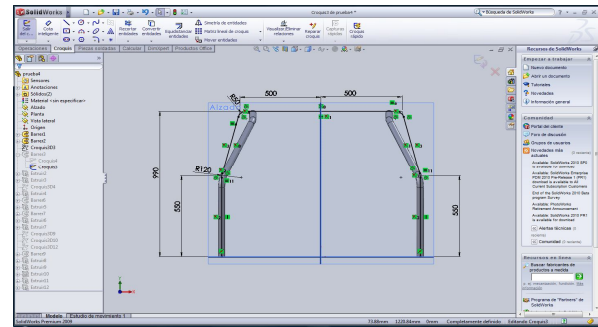


Figura 23: Croquis acotado

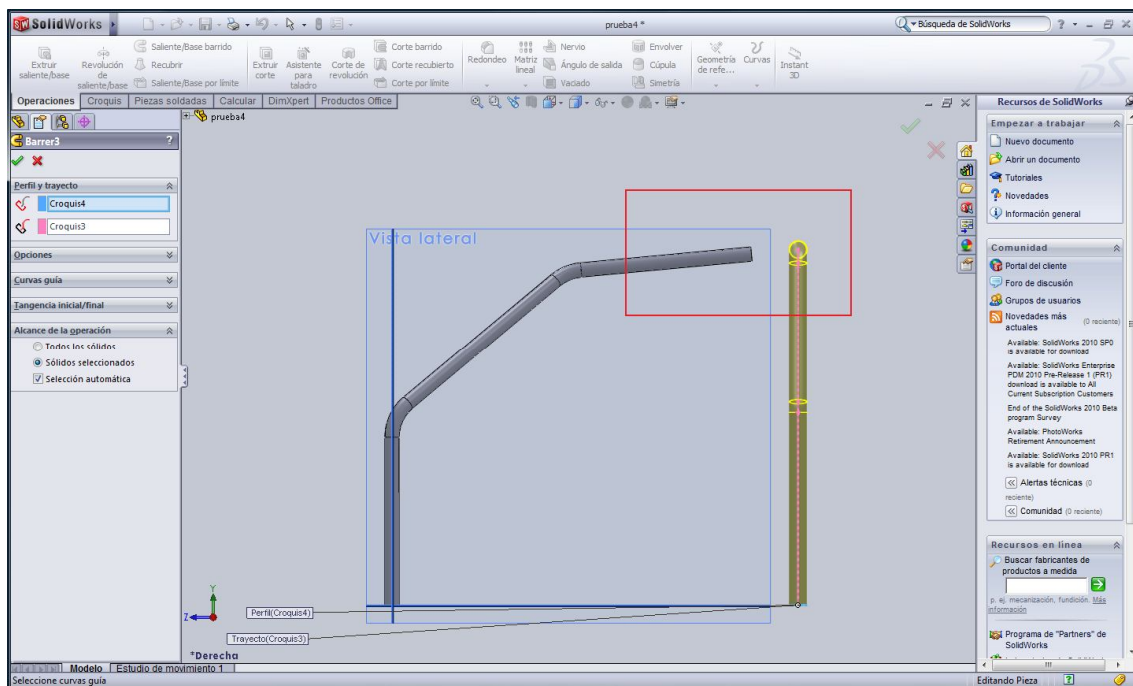
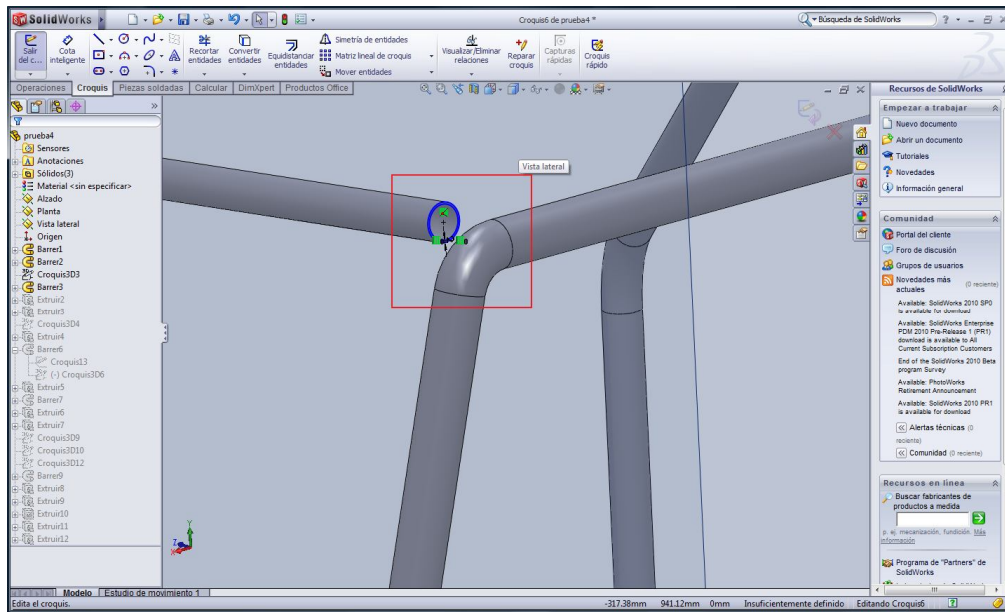


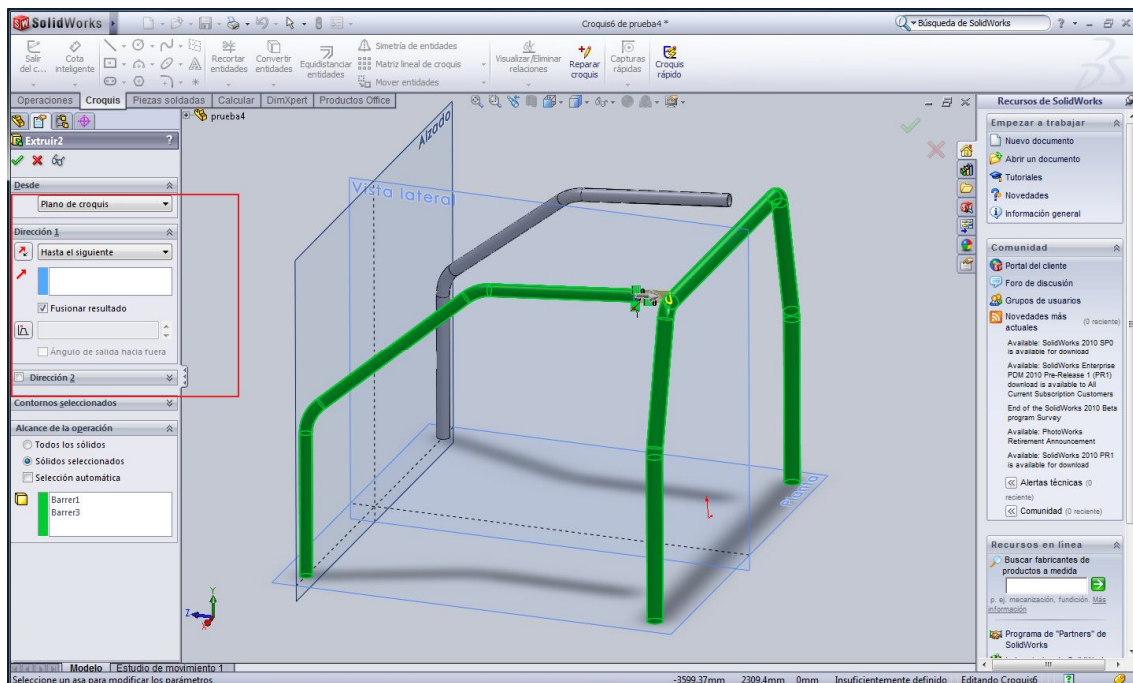
Figura 24: Detalle del hueco existente entre semiarco lateral y arco principal.

Tal y como se muestra en la figura 24 existe un hueco entre los semiarcos laterales y el arco principal. Está hecho aposta porque si se ajusta alguno de los barridos para que se junten los cuerpos, éstos no fusionan correctamente las caras y existen interferencias entre los diferentes volúmenes. Para conseguir que ambos tubos se fusionen perfectamente hay que recurrir a la extrusión convencional: Extruir saliente/base → Se selecciona el plano a partir del cual se generará ésta, que será la sección del semiarco lateral.

**Figura 25: Detalle croquis.**

En el se dibuja la sección de la nueva extrusión haciéndola coincidir, como no, con la sección ya existente → Salir del croquis.

Al salir del croquis aparece una ventana donde se puede seleccionar la extensión de la extrusión. Para que los dos cuerpos se fusionen correctamente, de manera automática, se elige la opción “hasta siguiente”.

**Figura 26: Resultado extensión “hasta siguiente”.**

4.3.1.3 - Barras de protección en puertas.

Lo primero de todo es crear un nuevo plano de referencia que sea paralelo al alzado. Se siguieron los pasos explicados anteriormente para la generación de planos paralelos, sólo que en esta ocasión la distancia a introducir tiene que ser algo menor para que el plano quede situado en una zona intermedia entre la parte delantera de los semiarcos laterales y el arco principal. Seguidamente activamos el comando “Extruir saliente/base” y clicamos en el nuevo plano.

En el croquis se dibujan y acotan convenientemente las secciones de los dos tubos:

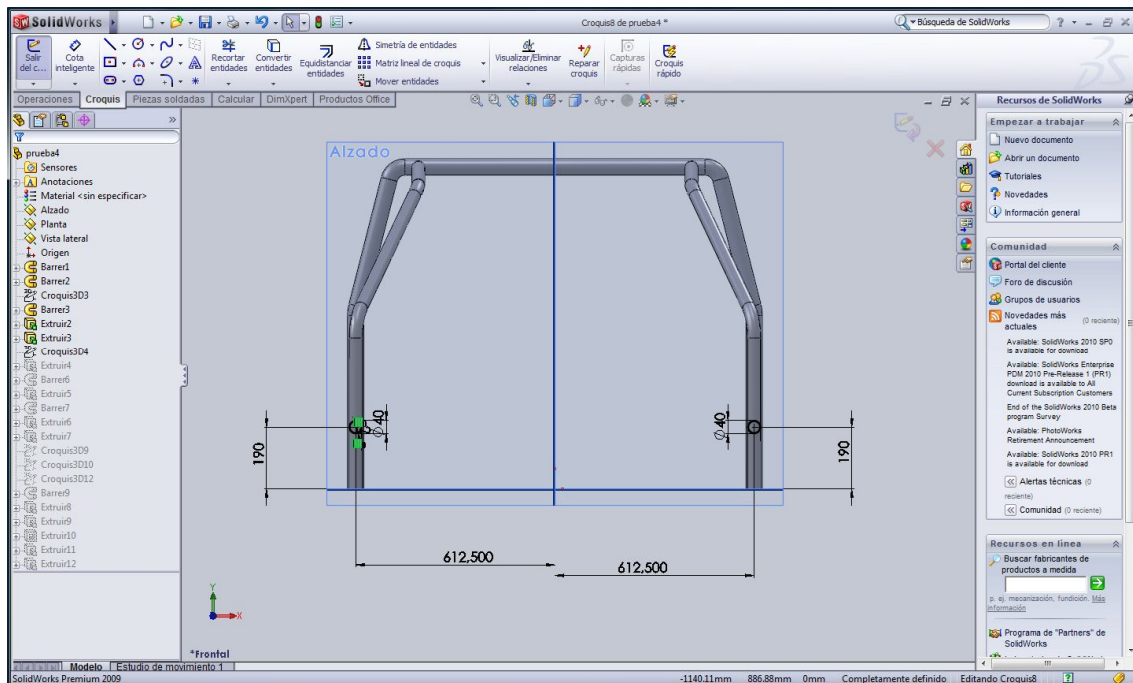


Figura 27: Secciones barras laterales.

Al salir del croquis elegimos la extensión “hasta siguiente”

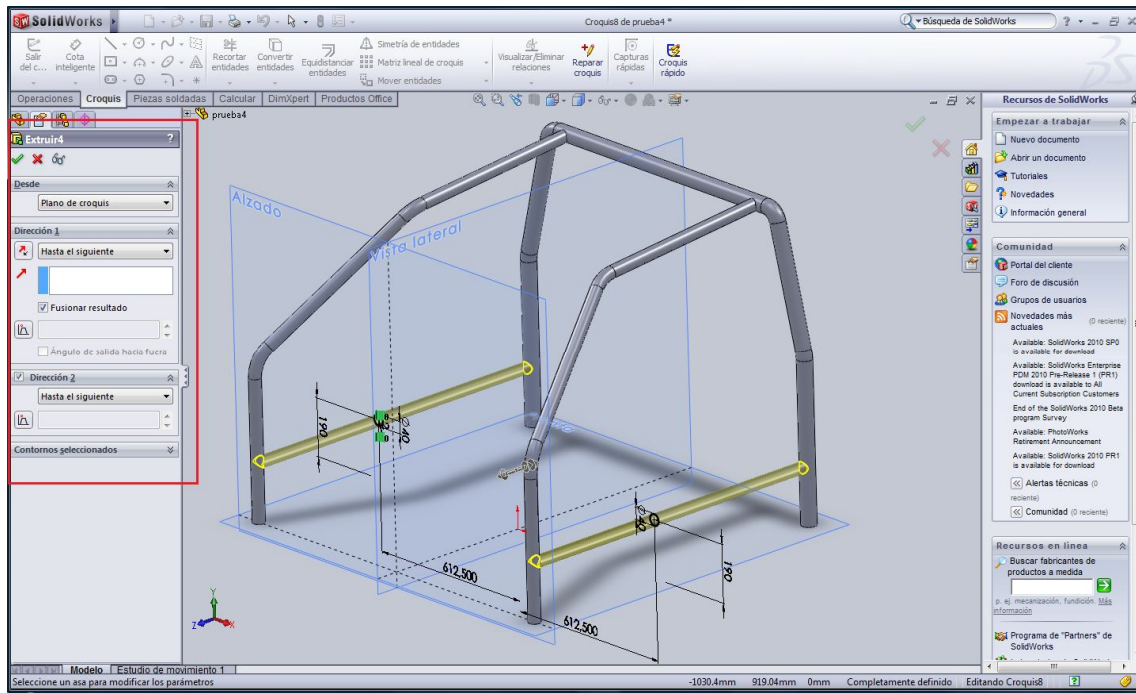


Figura 28: Resultado de la extrusión de las barras laterales.

4.3.1.4 - Tirantes traseros.

Es quizá el paso más trabajoso. Lo primero que hay que hacer es generar una trayectoria formada por dos puntos, al igual que se explicó en el primer paso:

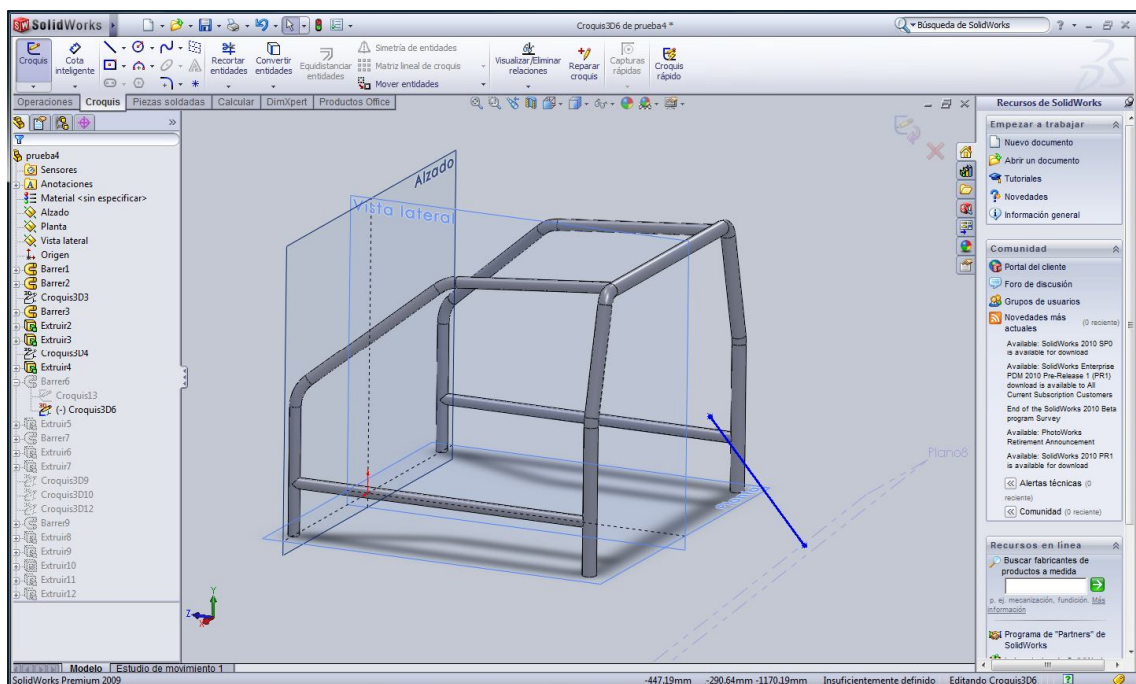


Figura 29: Trayectoria de los tirantes traseros.

Con la trayectoria generada creamos un plano de referencia perpendicular a ésta. Sin salir del entorno “croquis” pinchamos en “plano”. Aparece la ventana para definir las características del plano. En “primera referencia” seleccionamos la trayectoria, indicando que el plano sea perpendicular, y después pinchamos en el extremo inferior de ésta. Así se consigue que el plano sea perpendicular y sea coincidente en ese punto → Salimos del croquis.

Una vez se tiene definida la trayectoria hay que dibujar la sección en el nuevo plano tal y como se explicó en otros puntos. Con la trayectoria y la sección ya se puede realizar el barrido, quedando así:

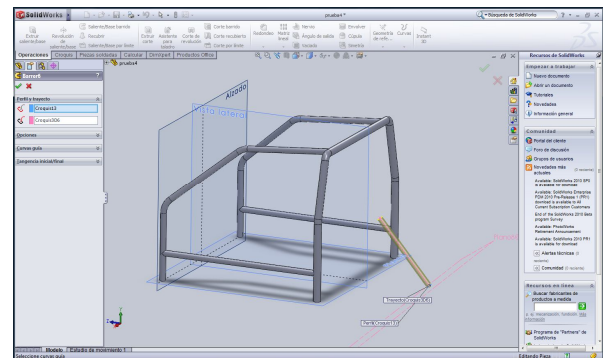


Figura 30: Barrido tirantes traseros

El tubo se continúa hasta el arco principal mediante una extrusión convencional, al igual que hicimos con los semiarcos laterales.

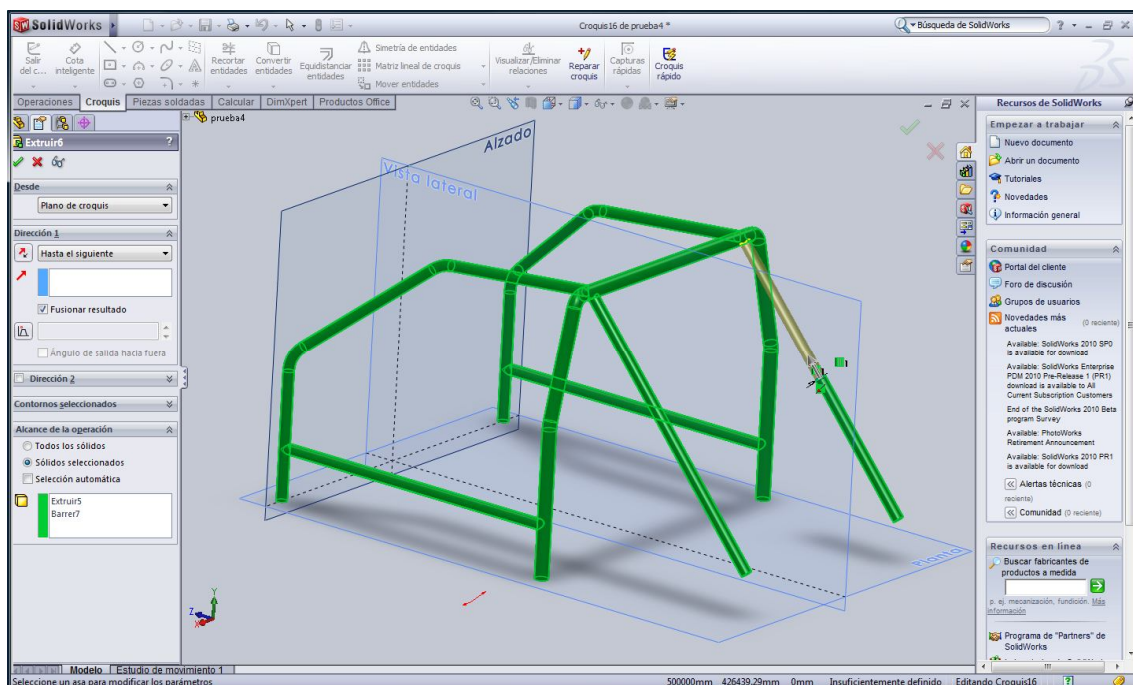


Figura 31: Extrusión “hasta siguiente” tirantes traseros.

4.3.1.5 - Barra transversal frontal.

Se añade usando la operación extrusión. El proceso de modelado es igual al que se usó para las barras de protección en puerta: extruir saliente; elegir el plano “vista lateral”; dibujar la sección; elegir extensión “hasta siguiente” en ambas direcciones.

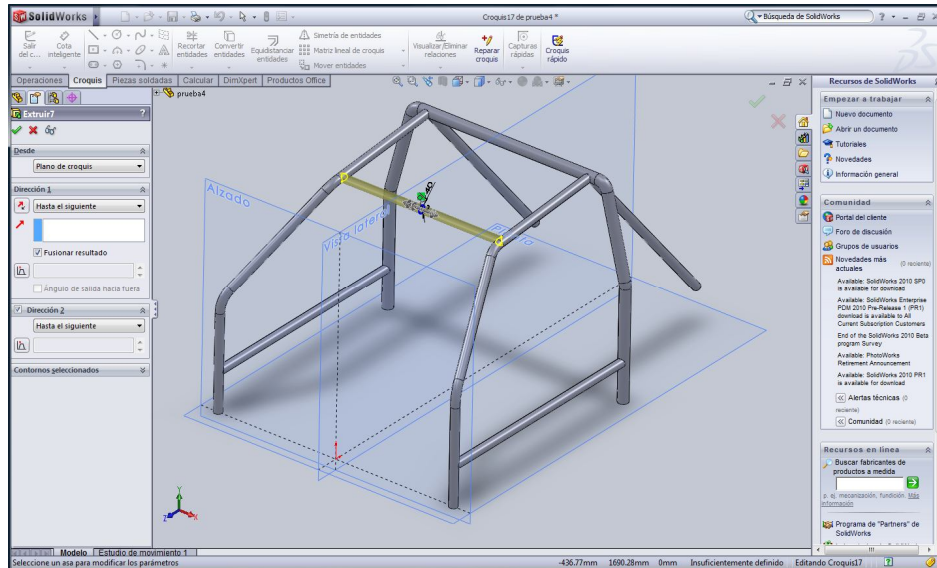


Figura 32: Generación arco delantero.

4.3.1.6 - Barra diagonal trasera.

Es un proceso bastante parecido al de la creación de los tirantes: crear plano donde hacer la trayectoria; dibujarla directamente, sin generar puntos; crear plano perpendicular; dibujar la sección del tubo; barrer la sección por la trayectoria; fusionar los extremos de la barra con el resto de la estructura. El paso que merece la pena destacar, por novedoso es la generación del primer plano.

Activamos pestaña croquis → Plano → Pinchamos en los dos tirantes. Así se consigue que el plano sea tangente a ambos tubos. → Salir del croquis. → Volver a seleccionar “plano” → Pinchar en el último plano generado y colocarlo a una distancia de 20mm (diámetro del tubo/2) de manera que el plano interseque con los tirantes. Ya está generado el plano donde trazar la trayectoria necesaria.

Por último se generan los pies de apoyo con la operación de extrusión. Como planos se escogen el final de alguno de los tubos. Una vez seleccionados se dibuja la sección rectangular acotándola correctamente.

RESULTADO FINAL:

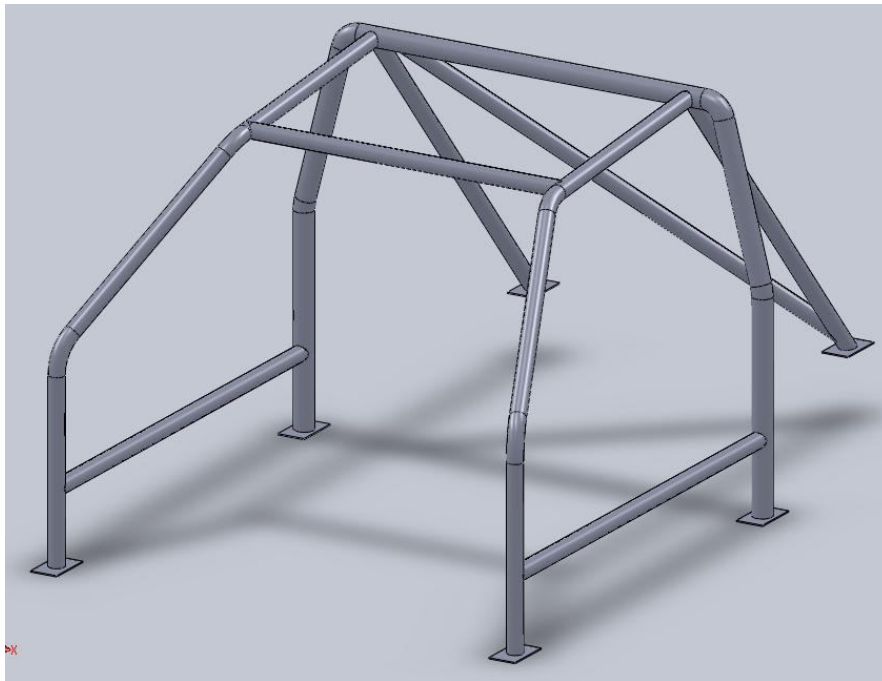


Figura 33: Aspecto final de la estructura.

4.4 - ANÁLISIS

La FIA, en el apartado 2.3 – Análisis de cargas estáticas, del reglamento perteneciente a las estructuras de seguridad para automóviles de competición marca los tipos de ensayos estáticos que se han de realizar a la hora de homologar una jaula antivuelco.

Ensayo 1:

“La estructura debe soportar una carga vertical de $7,5w$ daN aplicada en la parte superior del arco principal a través de un tampón rígido, dónde w es igual al peso del coche +150kg. El tampón debe estar fabricado de acero y tener las siguientes dimensiones:

- Longitud = anchura del arco principal + 100mm como mínimo.
- Anchura = 250 +/- 50mm.
- Espesor = 40mm como mínimo.

No se pueden producir fisuras en la estructura y la deformación máxima, en la dirección de la fuerza aplicada, no puede superar los 50mm”

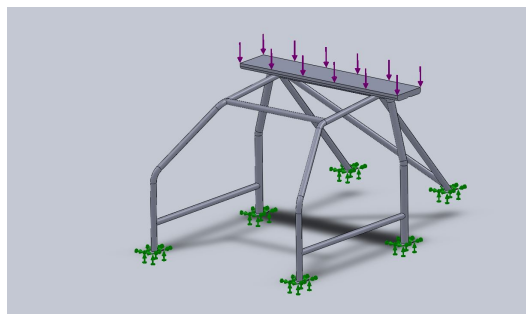


Figura 34: Disposición del ensayo 1.

Ensayo 2:

“La estructura debe soportar una carga de $3,5w$ daN en la parte superior de la barra frontal, a través de un tampón rígido, en el lado del piloto/copiloto y en la intersección con el elemento transversal. W es igual al peso del coche + 150kg.

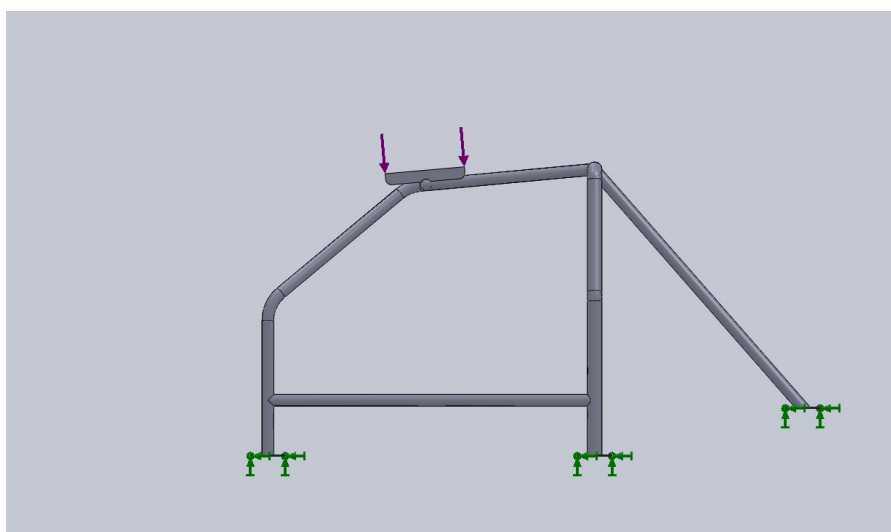
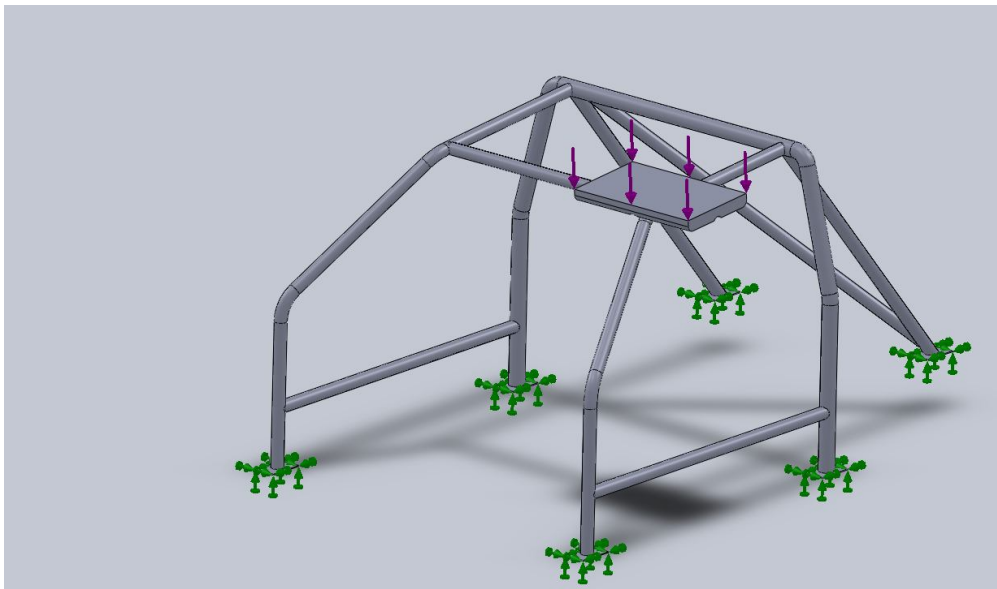
El tampón debe estar fabricado de acero y tener las siguientes dimensiones:

- Longitud = 450mm +/- 50mm.
- Anchura = 250mm +/- 50mm.
- Espesor = 40mm como mínimo.

El eje longitudinal del sello deberá ser dirigido hacia el frente y hacia abajo con un ángulo de $5^{\circ} + / - 1^{\circ}$ con respecto a la horizontal, y su eje transversal, se debe dirigir hacia el exterior y hacia abajo con un ángulo de $25^{\circ} + / - 1^{\circ}$ en relación a la horizontal”

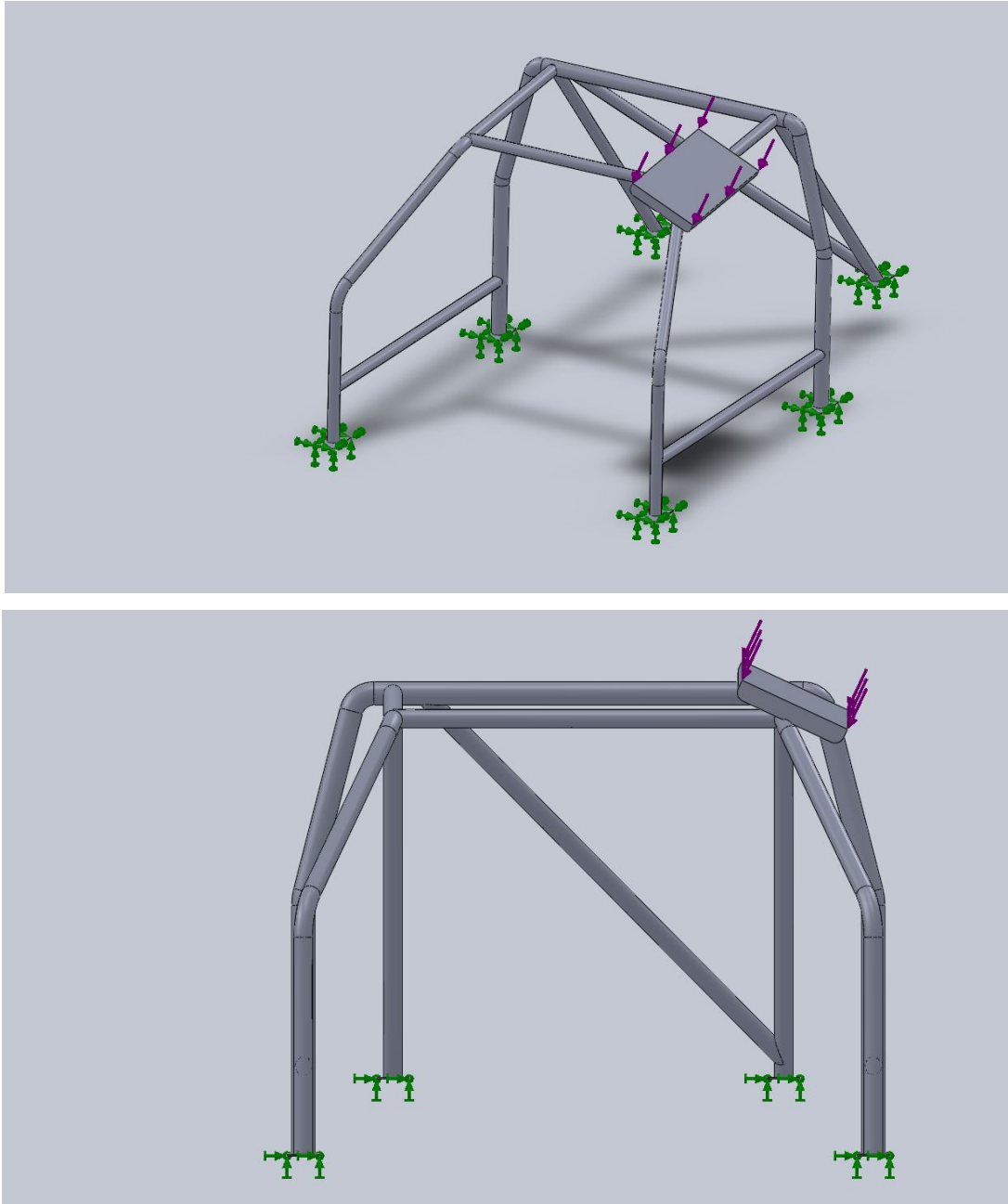
Debido a que, por exigencias del programa, no puedo realizar un contacto tangencial y lo que tengo que hacer es realizar un pequeño vaciado en el tampón y acoplar éste a las barras, no es posible realizar de una vez las diferentes orientaciones que marca la norma. Por lo tanto, he dividido el ensayo 2 en dos sub-ensayos, que quedarían así:

- Ensayo 2.1: Prensa orientada hacia el frente y hacia abajo con un ángulo de 5° .



Figuras 35 y 36: Perspectiva y vista lateral del ensayo 2.1

- Ensayo 2.2: Prensa orientada hacia el exterior y hacia abajo con un ángulo de 25° .



Figuras 36 y 37: perspectiva y vista frontal del ensayo 2.2

Lo que al principio podría parecer un inconveniente no lo es tanto ya que voy a poder aislar más aún el comportamiento de la barra frontal (2.1) y del arco lateral (2.2).

4.4.1 - CONSIDERACIONES INICIALES.

Lo primero que hay que hacer es decidir cómo se va a realizar la simulación, si modelizando la carga o analizando directamente el conjunto formado por el arco más la prensa.

La primera idea es modelizar las cargas de la siguiente manera:

- Primer ensayo: Fuerza linealmente distribuida.
- Segundo ensayo: Varias fuerzas puntuales en torno a la unión del arco lateral y la barra transversal.

En el primer caso la modelización de la carga no es válida ya que de esta manera se producirían unos desplazamientos verticales en el centro del arco principal muy elevados (normal al comportarse como una viga biempotrada) pero que en la realidad no serían ciertos ya que al ser solidarios arco y prensa, el desplazamiento de ambos ha de ser el mismo, y la prensa siendo prácticamente rígida no podría tener esa flecha tan grande.

En el otro caso también la desecho ya que es muy importante ver cómo interactúa la prensa con el resto de las barras.

Por lo tanto se van a analizar directamente los diferentes conjuntos prensa-arco.

Hay que señalar que la prensa tiene hecha una pequeña “U” para que acople con la barra. Esto se realizó debido a que el programa de elementos finitos no entendía el contacto puramente tangencial que existía entre la prensa y el arco principal. Haciendo ese pequeño vaciado conseguimos que exista un contacto superficie-superficie caso que sí entiende el programa y que no afecta a los resultados. Aunque habrá que tener cuidado e interpretar las tensiones que se produzcan en el contacto entre la arista de la “U” y la barra. Generalmente serán muy altas y tendrán que ser desechadas.

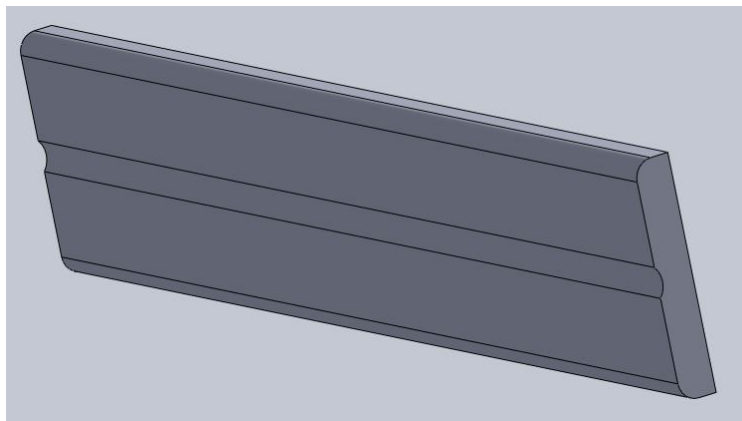


Figura 38: Prensa del ensayo 1

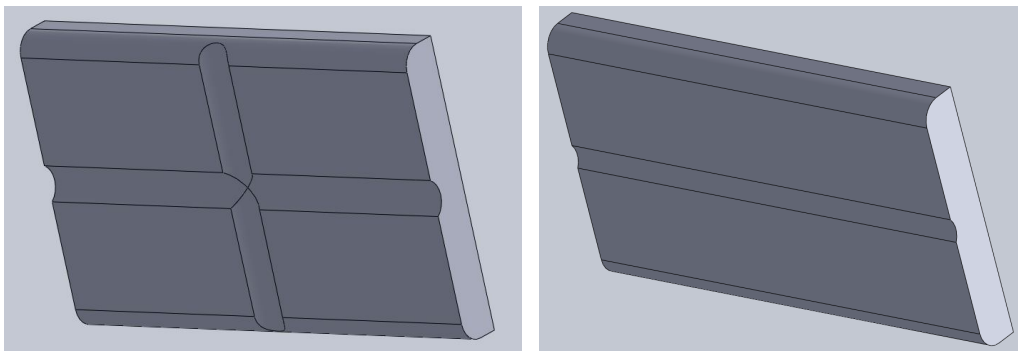


Figura 38 y 39: Prensas de los ensayos 2.1 y 2.2

4.4.2 - CÓMO CREAR EL CONJUNTO.

Al haber explicado cómo modelar el primer arco de seguridad, creo conveniente también explicar qué pasos hay que seguir para realizar conjuntos en Solidworks. Para ello explicaré, paso por paso, cómo generar el primero de los ensamblajes.

Archivo → Nuevo → Ensamblaje → Aceptar

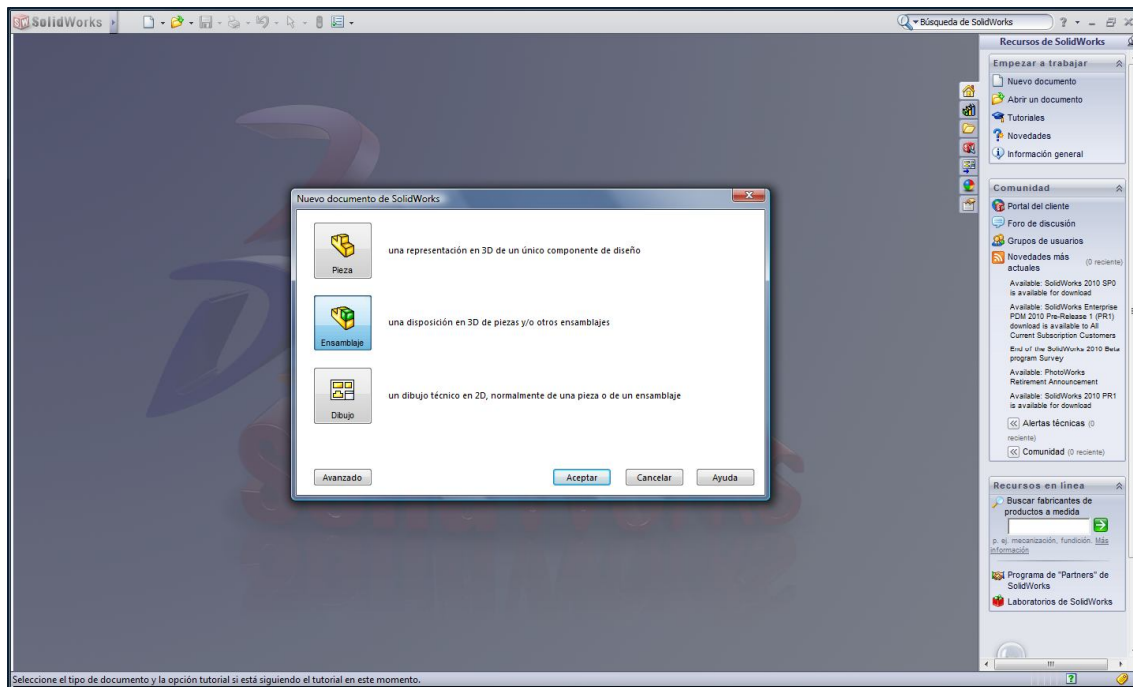


Figura 40: Nuevo ensamblaje

Examinar → Elegir la pieza principal.

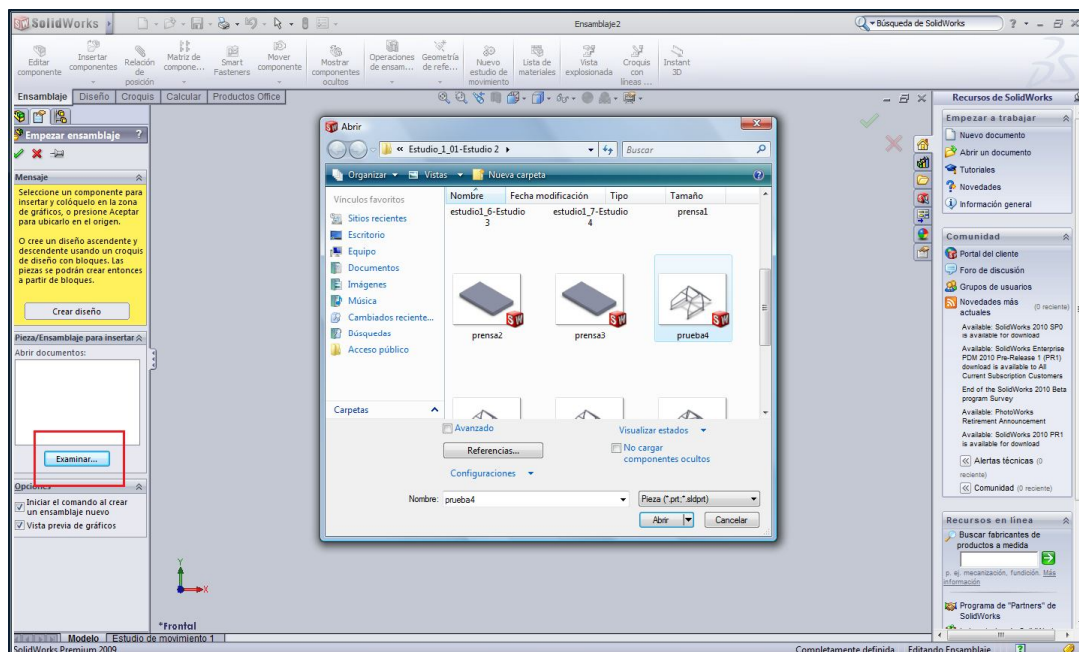


Figura 41: Insertar componentes.

Una vez que tenemos el arco, introducimos la prensa:

En la pestaña ensamblaje → Introducir pieza → Examinar → Escoger la pieza.

Aceptamos y la situamos en cualquier lado:

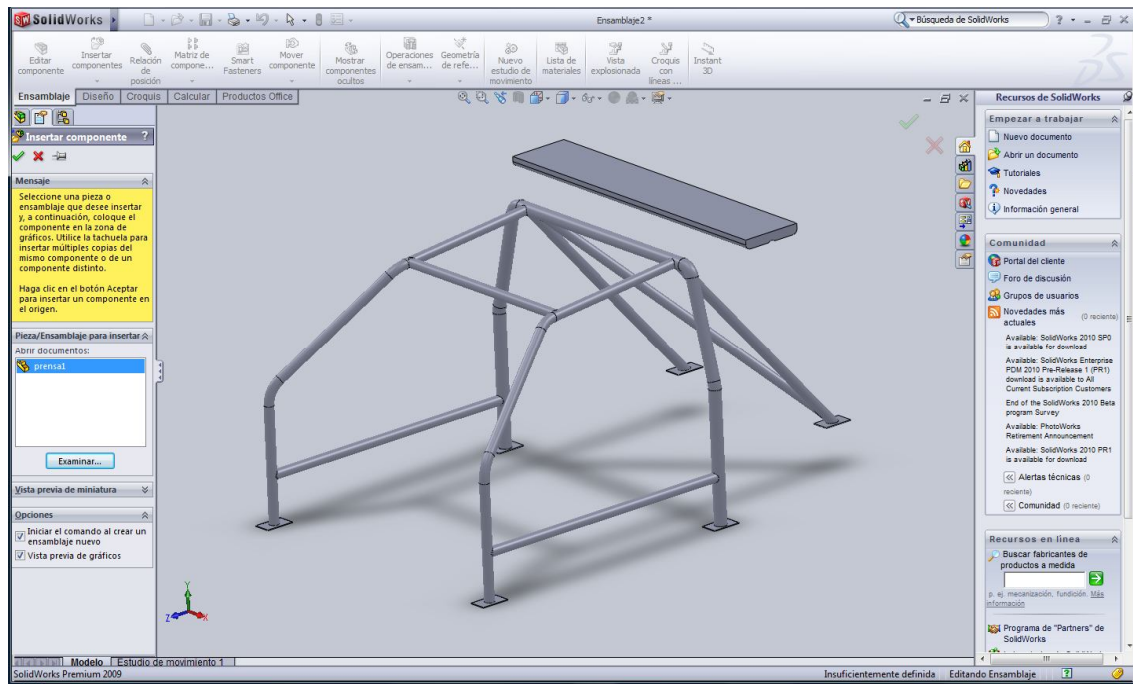


Figura 42: Insertar componente – Prensa

Ahora hace falta introducir las relaciones de posición necesarias para que esté completamente definida. **PARA REALIZAR UN ANÁLISIS ESTÁTICO TODAS LAS PIEZAS TIENEN QUE ESTAR COMPLETAMENTE DEFINIDAS.**

Dentro del menú ensamblaje, pinchamos el botón “relación de posición”



Figura 43: Cinta de comandos – Ensamblaje

Aparece un menú lateral. Marcamos concéntrica y seleccionamos las caras de la prensa y del arco principal, en este orden. Aceptamos.

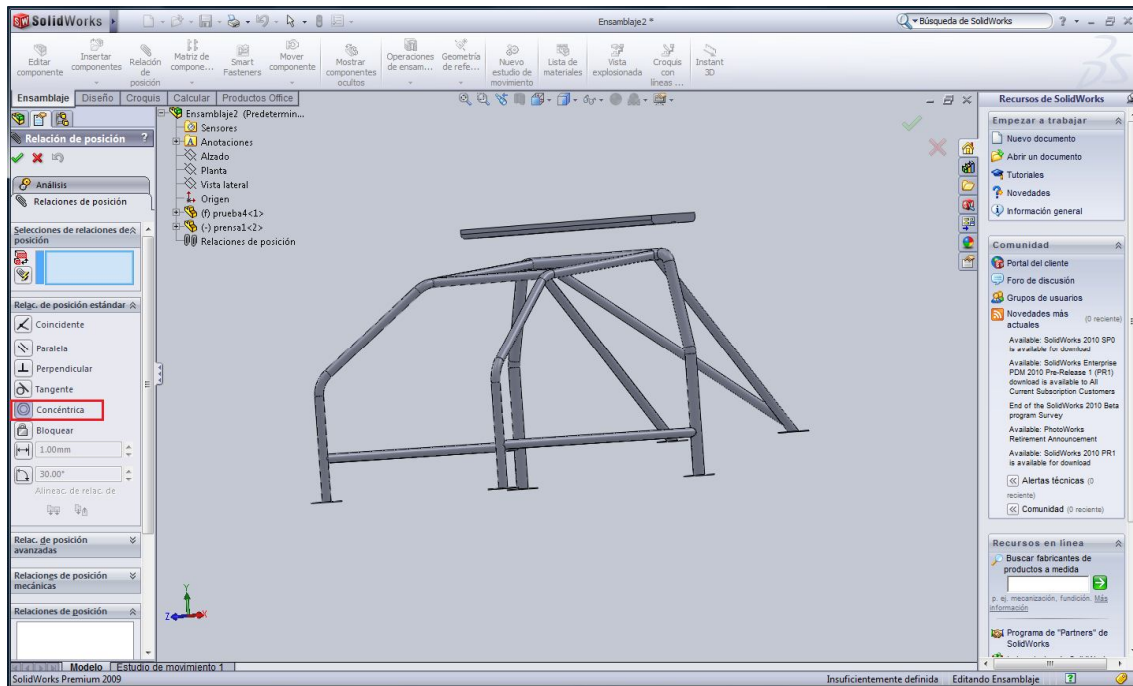


Figura 44: Relaciones de posición.

Sin salir de este menú ahora activamos “coincidente” y desplegamos los árboles de operaciones. Seleccionamos los planos “vista lateral” de la prensa y del arco. Al ser ambos simétricos, lo que conseguimos es que la prensa esté situada exactamente en el centro. Aceptamos.

Continuamos en el menú y ahora elegimos “paralela”. Seleccionamos el plano “alzado” de la prensa y del arco, en este orden. Así tendremos la prensa completamente paralela al suelo. Aceptamos dos veces.

Abajo a la derecha tiene que aparecer el siguiente mensaje “Completamente definida”.

4.4.3 - CONDICIONES INICIALES.

- Peso del vehículo: 850 Kg
- Material de las barras: Acero al Cromo Molibdeno – 25CrMo4
 - o Módulo de Young: 205000Mpa
 - o Límite de Tracción: 1000Mpa
 - o Límite elástico: 695Mpa

Al estar soldada la estructura al chasis del coche, dentro de COSMOSWORKS haremos fijos los pies de anclaje.

$$F_{ensayo1} = 7,5 wdaN = 7,5 \cdot (850 + 150) = 7500 daN = 75000 N$$

$$F_{ensayo2} = 3,5 wdaN = 3,5 \cdot (850 + 150) = 3500 daN = 35000 N$$

4.4.4 - ENTORNO SOLIDWORKS SIMULATION.

Una vez terminado el ensamblaje, sin salir del documento activo entramos en el entorno Solidworks Simulation (es aconsejable, antes de iniciar el módulo de simulación, haber guardado el archivo).

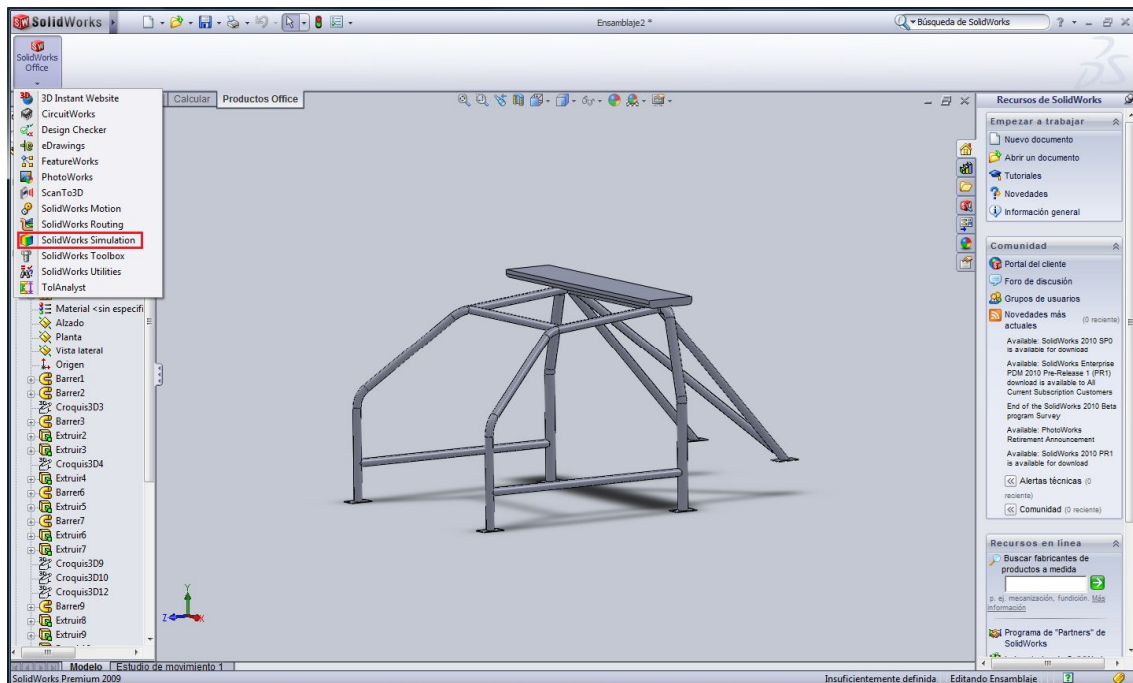


Figura 45: Entrar en el entorno Solidworks Simulation.

Estudio → Nuevo estudio → ESTÁTICO

4.4.4.1 - Condiciones de contorno.

Lo primero que hay que definir son las condiciones de contorno, es decir: las restricciones, los contactos entre componentes y las fuerzas que actúan en el sistema.

- Restricciones:

Sujeciones → Geometría fija.

Cómo los pies de anclaje van soldados a la carrocería seleccionamos las superficies inferiores de éstos como “geometría fija”. Aceptamos.

- Fuerza:

Cargas externas → Fuerza

Activamos: “normal” y “por elemento”. Elegimos la superficie dónde actuará la fuerza, que en este caso tomamos como referencia la parte superior de la prensa. Introducimos el valor deseado (75000N o 35000N, según el caso). Aceptamos.

- Contactos:

Se mantienen los definidos por defecto. Es una unión rígida que interpreta que los componentes están pegados y permanecen solidarios.

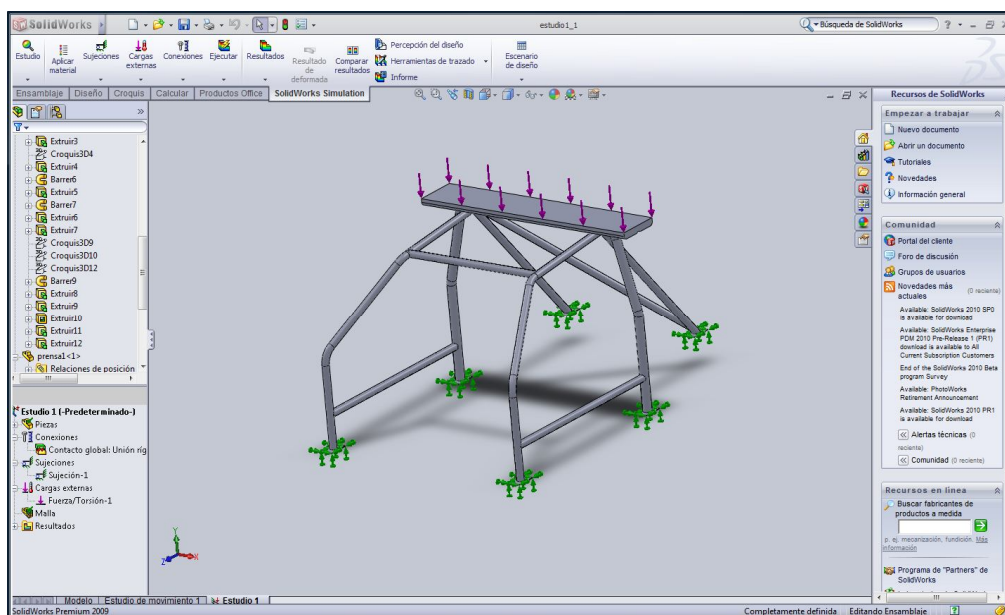


Figura 46: Aspecto general del ensayo.

4.4.4.2 – Materiales.

Para aplicar el material hay que hacer pulsar el botón derecho del ratón encima de la pieza (en el árbol perteneciente al estudio) y seleccionamos la opción “aplicar/editar material”.

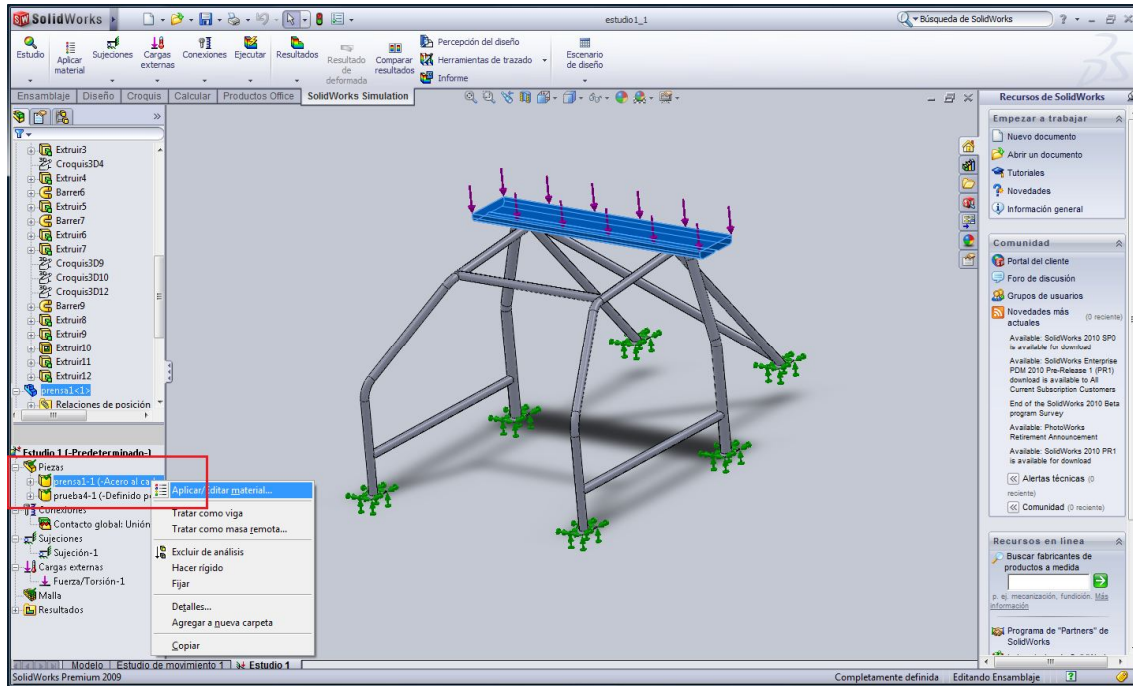


Figura 47: Aplicar/editar material.

Aparece una nueva ventana, donde tenemos tres opciones: material de solidworks, personalizado y archivos de biblioteca. Según nuestras necesidades, escogemos una u otra opción. En este caso seleccionamos “personalizado”, donde se pueden introducir las características propias del material a utilizar.

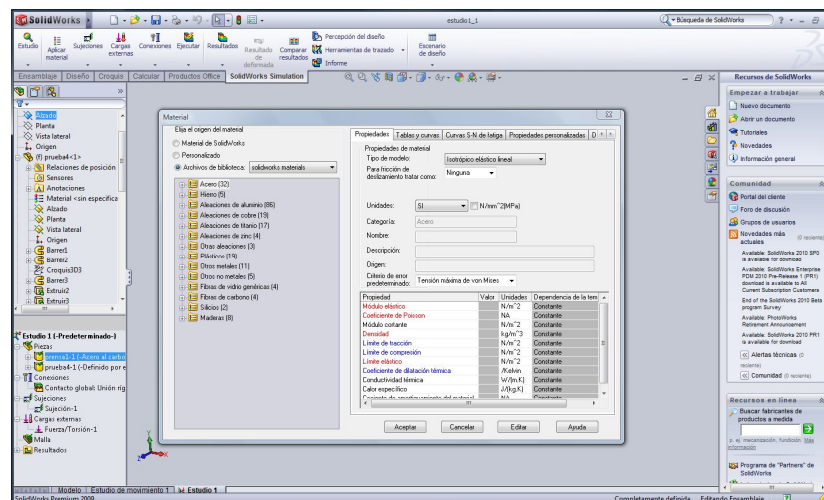


Figura 48: Tabla de materiales.

4.4.4.3 – Mallado.

Por último, y antes de realizar el análisis, hace falta mallar las piezas. Recordemos que el mallado es una discretización consistente en la división, en pequeños elementos, de un volumen determinado.

Para iniciar el proceso de mallado tenemos que pulsar con el botón derecho del ratón en “malla” y seleccionar “crear malla”.

Aparecerá un nuevo menú dónde se pueden establecer los parámetros de mallado. En este caso, establecemos que el **tamaño máximo del elemento sea de 9mm** por varias razones:

1. Es el tamaño máximo que el programa nos permite para poder mallar sin problemas.
2. Con este tamaño la calidad de la malla es bastante buena.
3. Si escogemos tamaños menores, la malla no gana apenas calidad y el ordenador puede que no tenga suficiente capacidad para trabajar con tantos nodos/elementos.

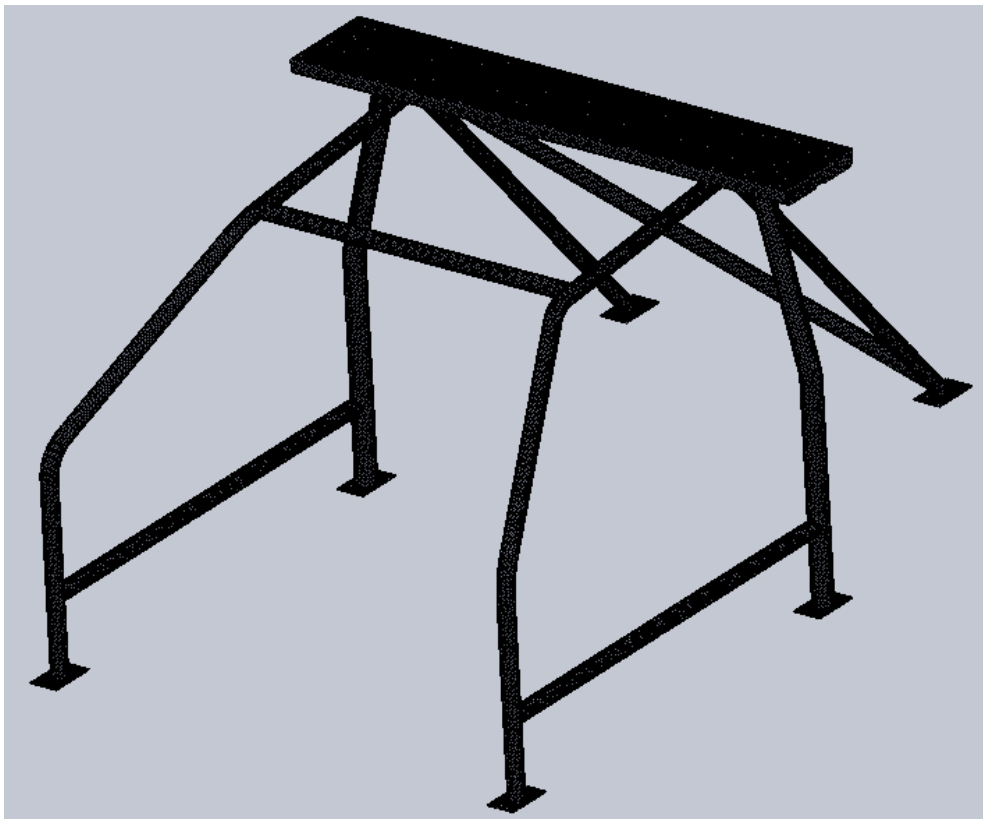


Figura 49: Ensamblaje mallado.

Una vez que hemos seguido todos los pasos ejecutamos el análisis para obtener los resultados.

5 - RESULTADOS

5.1 - DISEÑO 1

5.1.1 - ENSAYO 1

5.1.1.1 – Tensiones

Como se puede apreciar en la figura 50 la tensión de Von Mises máxima se produce en la curvatura que tiene el arco principal. Apreciamos que el resto de la estructura se mantiene casi inalterable.

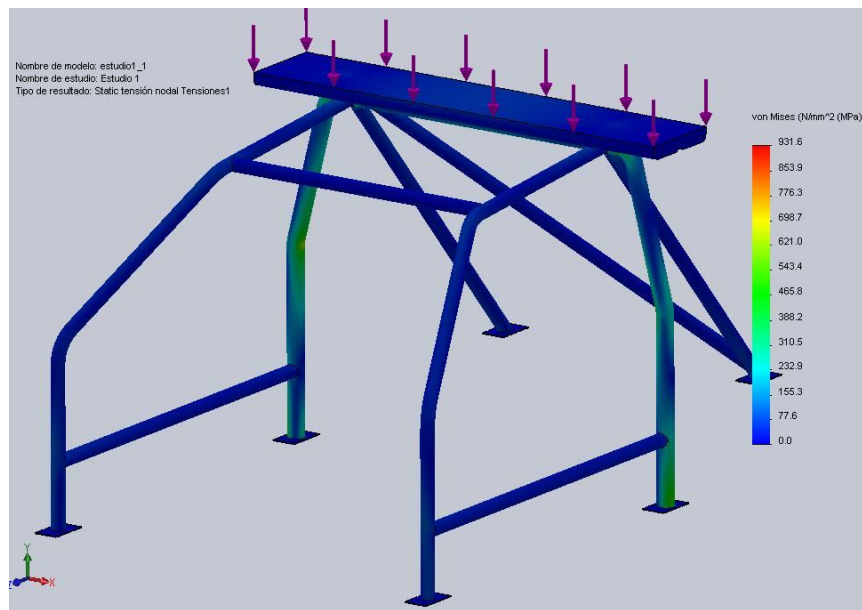


Figura 50: Tensión de Von Mises

Esta tensión tiene un valor de 649,3Mpa. No supera el valor de resistencia máxima a la tracción del material (1000Mpa) por lo que podemos asegurar que no se producirán roturas en el arco principal.

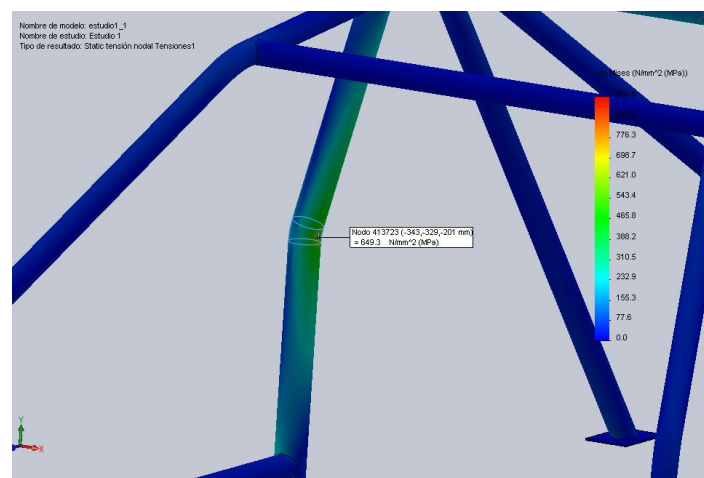


Figura 51: Detalle de la tensión en el arco principal.

5.1.1.2 – Desplazamientos

Los desplazamientos máximos son de 5,14mm y no se producen en dirección de la fuerza aplicada, donde son de unos 3mm.

Desplazamiento $\ll 50\text{mm}$

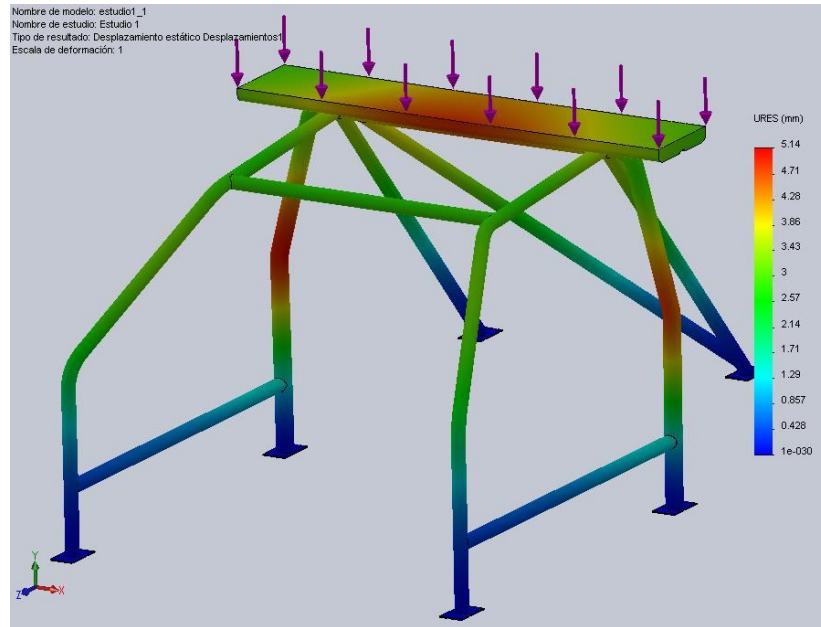


Figura 52: Desplazamientos del ensayo 1

Para este ensayo podemos concluir que CUMPLE LA NORMATIVA

5.1.2 - ENSAYO 2.1

5.1.2.1 - Tensiones:

Este ensayo ha resultado ser mucho más “crítico” con el diseño inicial de la jaula de seguridad. El resultado de la simulación nos ha arrojado unas tensiones de Von Mises muy superiores a la tensión límite de rotura que, recordemos, para el Acero al Cromo Molibdeno es de 1000Mpa.

Aunque casi la totalidad del semiarco lateral está muy solicitado son dos las zonas claramente diferenciadas: la curvatura frontal del arco lateral (2200Mpa) y la unión entre éste y el arco principal (1900MPa).

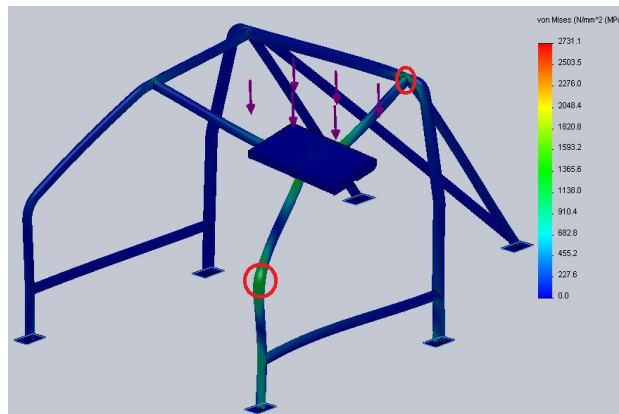


Figura 53: Puntos de máxima tensión.

Observando la deformada con una escala 6 veces mayor a la real puedo entender mejor el comportamiento de las barras y poder tomar las decisiones necesarias para mejorar el diseño inicial.

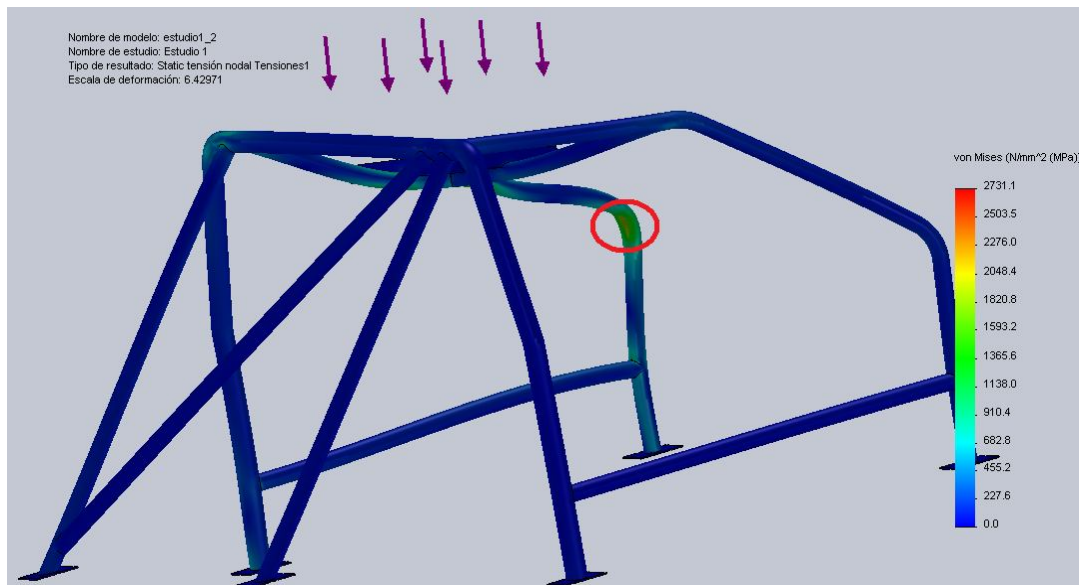


Figura 54: Puntos de máxima tensión.

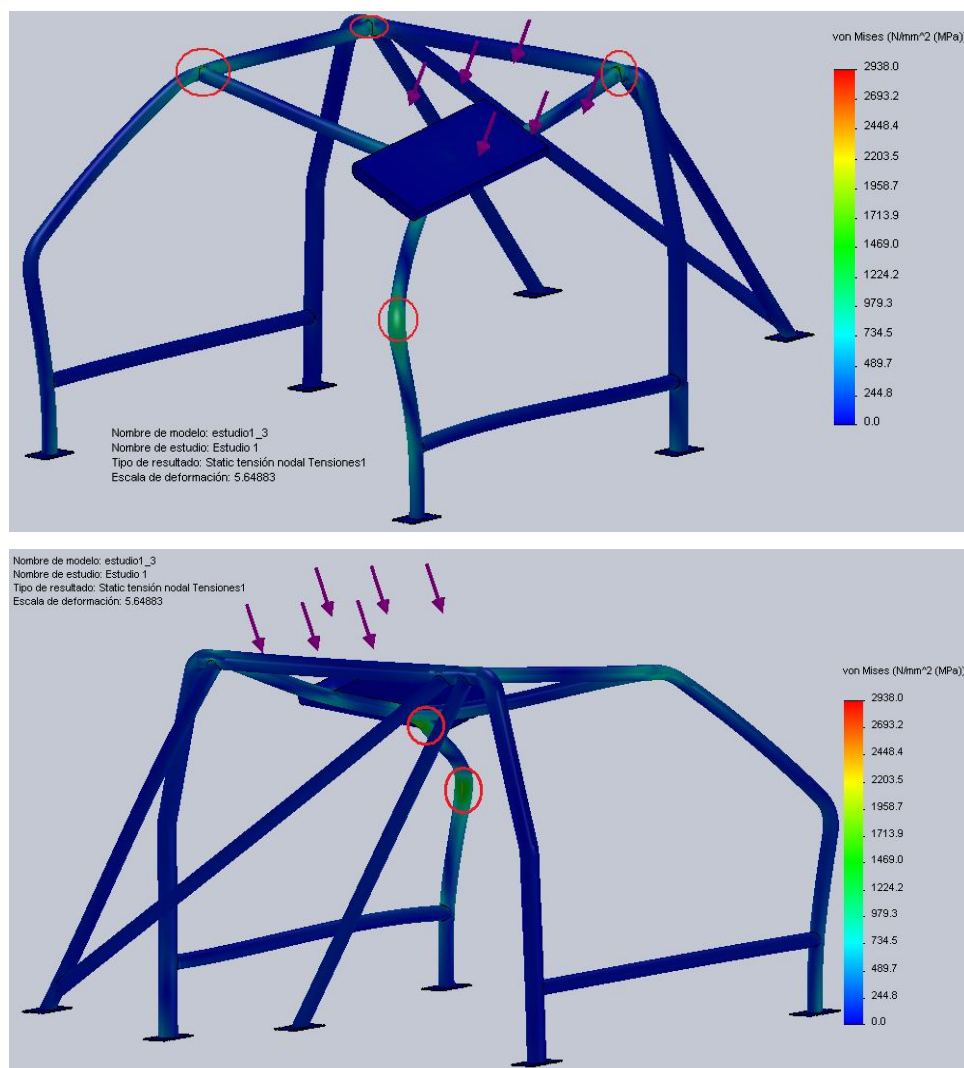
$$\sigma_{\text{vonmises}} > \sigma_l = 1000\text{Mpa} \rightarrow \text{NO CUMPLE LA NORMATIVA}$$

Al no cumplir la normativa ya no estaría obligado a realizar la siguiente simulación, pero creo conveniente llevarla a cabo para ver cómo se comporta el diseño inicial en todos los ensayos.

5.1.3 - Ensayo 2.2

5.1.3.1 - Tensiones

Como era de esperar, en esta ocasión las barras se comportan de una forma parecida, aunque a las zonas críticas del ensayo 2.1 se suman 2 nuevas: Unión de la barra frontal con el arco lateral opuesto y la unión de éste con el arco principal.



Figuras 55 y 56: Puntos de máxima tensión.

Al superarse en varios puntos de manera holgada el límite de resistencia máxima tal y como esperábamos, la estructura no supera esta prueba.

5.2 - DISEÑO 2:

La primera propuesta que hago para mejorar el diseño es la de aumentar el espesor de las barras laterales de 2mm a 3mm y añadir una barra transversal que una, a la altura del salpicadero, los dos semiarcos laterales.

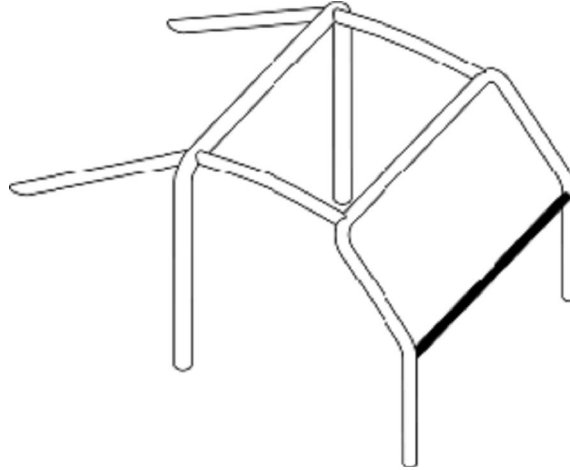


Figura 57: Dibujo barra transversal.

Realmente no se trata de arrojar una solución definitiva a mi estudio, sino que más bien quiero comprobar cómo se comportan las barras de 25CrMo4 al aumentarles el espesor y probar qué influencia podría tener la nueva barra instalada para este ensayo.

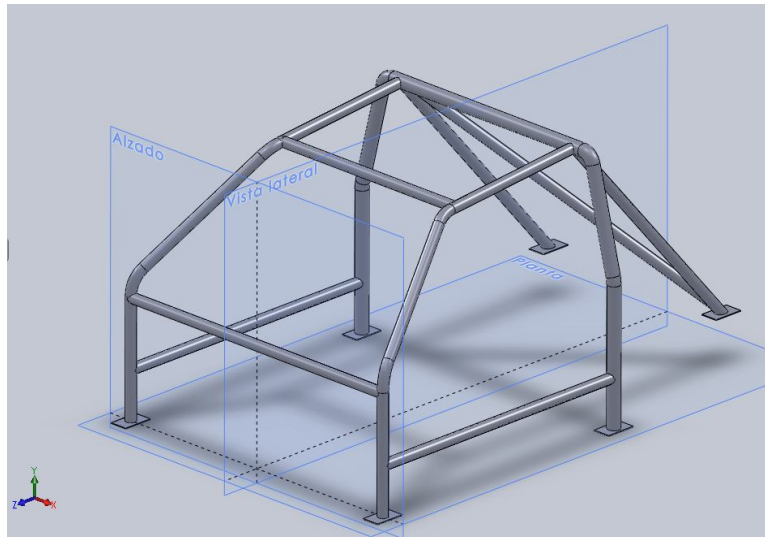


Figura 58: Aspecto general del diseño 2.

No realizo el ensayo 1 y paso directamente al 2.1, que era el crítico.

5.2.1 - ENSAYO 2.1

5.2.1.1 - Tensiones

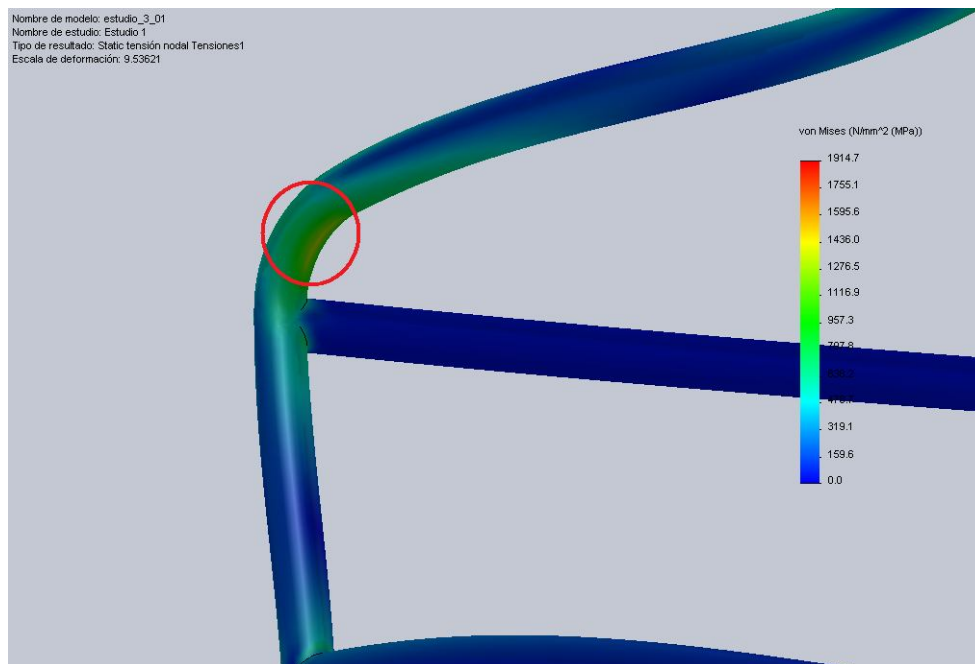
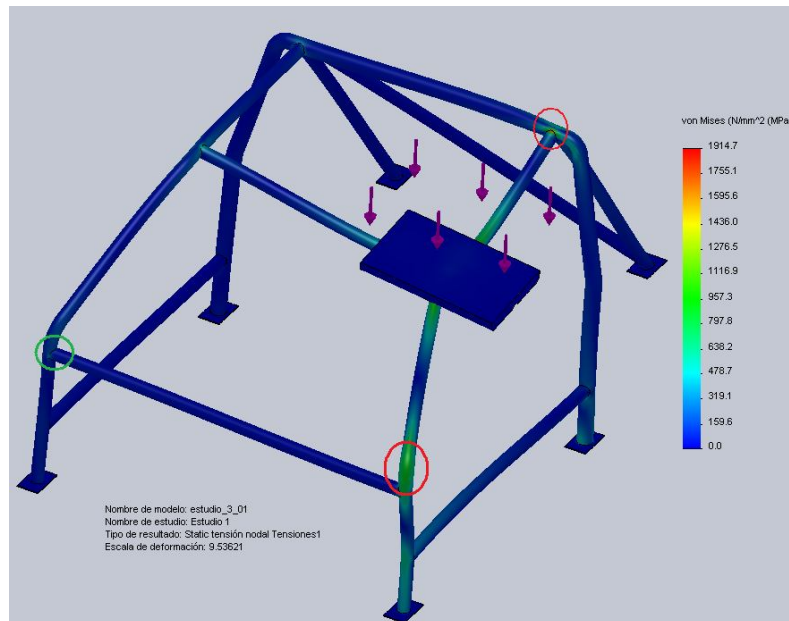


Figura 59 y 60: Puntos de máxima tensión.

Se han producido mejoras debidas al aumento del espesor de los tubos:

- Tensión curvatura frontal arco lateral
 - o Diseño inicial: 2200MPa
 - o Diseño nuevo diámetro: 1380MPa



- Tensión unión arco lateral con arco principal.
 - o Diseño inicial: 1900MPa
 - o Diseño nuevo diámetro: 1639Mpa

Aunque el comportamiento de la estructura ha mejorado considerablemente, sobre todo en la zona del doblez, sigue sin cumplir los requisitos.

$\sigma_{vonmises} > \sigma_l = 1000Mpa \rightarrow \text{NO CUMPLE LA NORMATIVA}$

Cómo se puede apreciar en la figura 59 la barra transversal no sufre tensión alguna, por lo que no trabaja y, por consiguiente, puedo afirmar que es inútil su instalación. Será desechada en los siguientes diseños.

También voy a desechar la idea de seguir aumentando el espesor de los tubos por tres razones:

- Aumento considerable del peso.
- Soldadura más costosa.
- Mayores costos de fabricación (medida no normalizada).

5.3 - DISEÑO 3

Siguiendo las pautas que marqué anteriormente, en el nuevo diseño desaparecerá la barra transversal y volveré a usar tubos de 2mm de espesor.

Los objetivos de este nuevo diseño son:

- Reducir la tensión de Von Mises del arco lateral.
- Reducir la tensión de Von Mises de la unión.

Analizando los resultados arrojados en el primero de los casos se aprecia que las tensiones máximas (de tracción en el exterior del tubo y de compresión en el interior) se producen en la zona que actúa de “articulación” de la deformada. Al ser poco rígida la estructura, ésta sufre un fuerte desplazamiento vertical, lo que hace que se doble demasiado la barra y aparezcan esas tensiones anteriormente descrita. Por lo tanto, la opción a llevar a cabo para el nuevo diseño es la de aumentar la rigidez mediante un **pilar de refuerzo de parabrisas** para, así, limitar mucho más los desplazamientos verticales.

Seguiré las directrices que nos marca el reglamento RFEDA de seguridad en el apartado 8.3.2.1.4

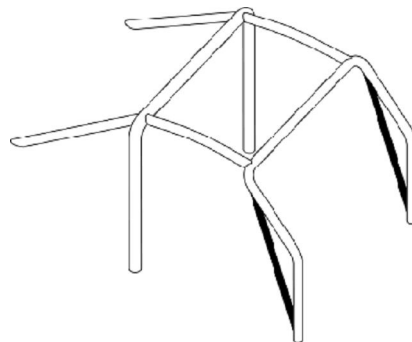


Figura 61: Dibujo pilar de refuerzo.

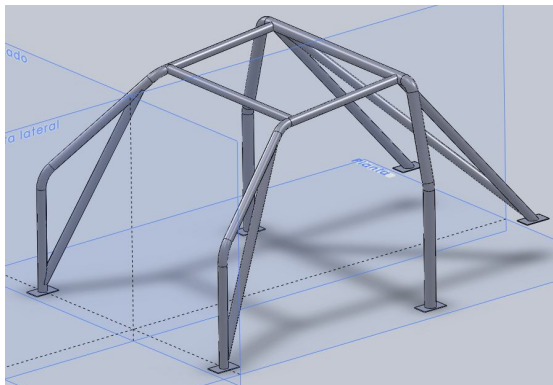


Figura 62: Aspecto general diseño 3.

Las barras horizontales de puertas han sido suprimidas porque no afectan a los resultados y así se minimizan los tiempos de mallado y simulación.

5.3.1 - ENSAYO 2.1

5.3.1.1 - Tensiones:

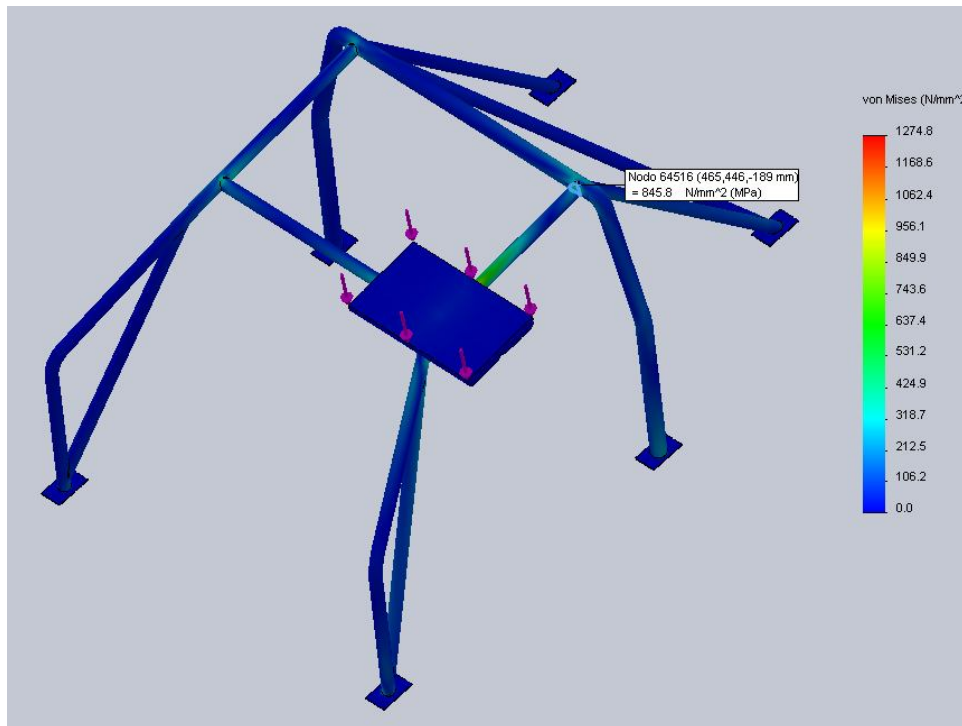


Figura 63: Tensión en ensayo 2.1

- Tensión arco lateral:
 - o Diseño inicial: 2200Mpa
 - o Diseño actual: 46MPa
- Tensión unión arco lateral-arco principal:
 - o Diseño inicial: 1900Mpa
 - o Diseño actual: 845,8MPa

Éste resultado ha sido ampliamente satisfactorio. Se han reducido completamente las tensiones que se producían en la parte frontal del arco lateral, y de forma notable las que aparecían en la unión del arco lateral y el arco principal.

$$\sigma_{vonmises} < \sigma_l = 1000Mpa \rightarrow \text{CUMPLE LA NORMATIVA}$$

5.3.1.2 - Desplazamientos



Figura 64: Desplazamientos ensayo 2.1

Los desplazamientos en la dirección de la fuerza son muy pequeños, de 9mm.

Desplazamientos $\ll 100\text{mm}$ \rightarrow CUMPLE LA NORMATIVA.

5.3.2 - ENSAYO 2.2

5.3.2.1 - Tensiones

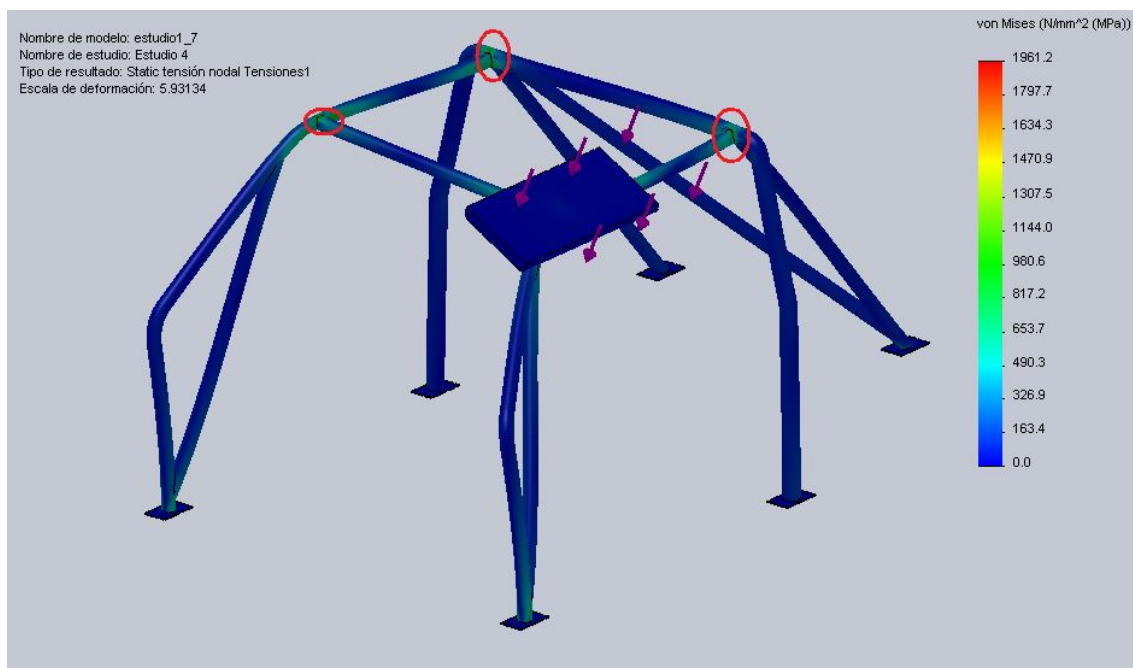
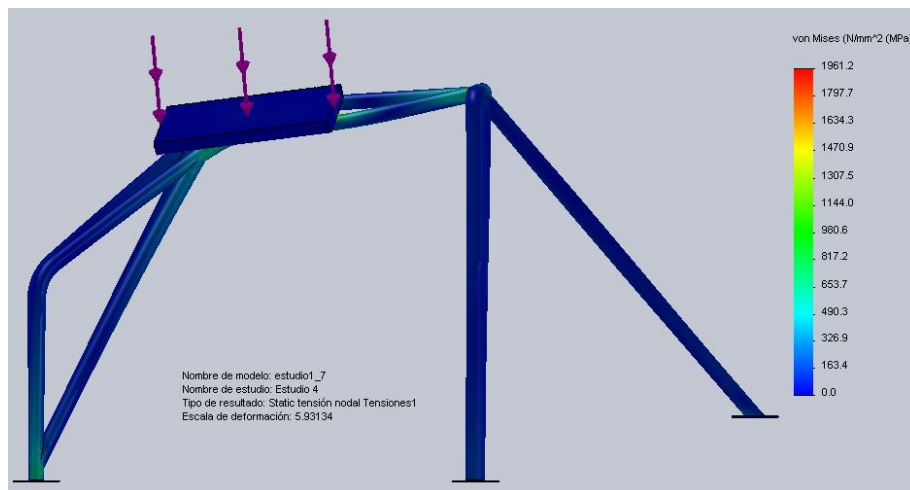
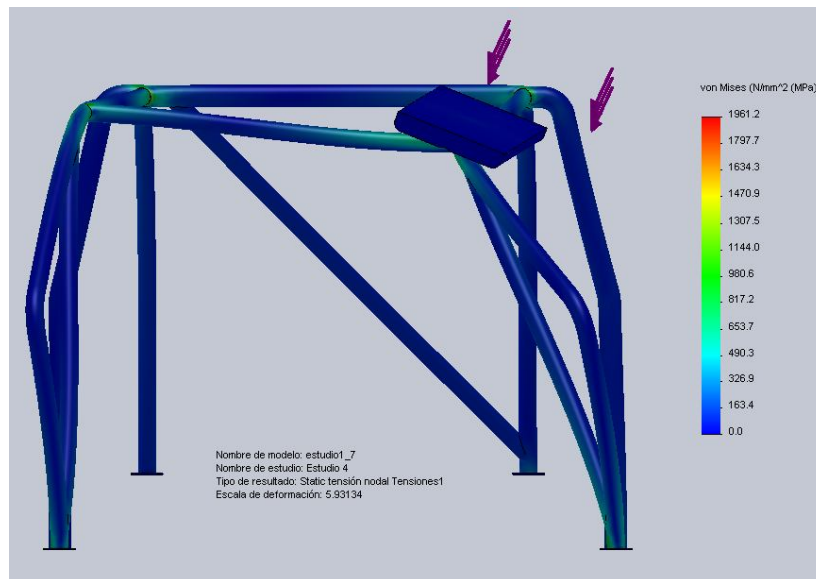


Figura 65: Tensión en diferentes puntos.

Este ensayo ha resultado ser más duro para la estructura, apareciendo nuevos puntos de debilidad. Las tensiones en estos puntos son las siguientes:

- Unión arco lateral derecho – Arco principal: 842MPa
- Unión arco lateral izquierdo – Barra transversal: 1172,8MPa
- Unión arco lateral izquierdo – Arco principal: 1396MPa

$\sigma_{vonmises} > \sigma_l = 1000\text{Mpa} \rightarrow \text{NO CUMPLE LA NORMATIVA}$



Figuras 66 y 67: Diferentes vistas de las tensiones y la deformada.

Observando el resultado de la deformada se pueden sacar conclusiones del porqué de esas tensiones tan elevadas. Éstas vienen originadas, al igual que pasó anteriormente, por falta de rigidez en ciertas partes de la estructura, más concretamente en el “cuadrado” del techo. Por lo tanto, en el siguiente diseño incrementaré la rigidez mediante barras adicionales.

5.4 - DISEÑO 4

Aumento de la rigidez de la estructura mediante la adición de nuevas barras, siguiendo las directrices de la normativa RFEDA de seguridad en el apartado 8.3.2.2.6 – Refuerzos en ángulo y unión. En mi caso sólo voy a utilizar los refuerzos que unen el arco lateral con el principal.

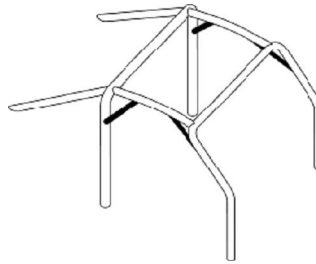


Figura 68: Refuerzos

Al estar cerca del diseño definitivo también voy a incluir las barras de protección lateral. Sustituiré el diseño inicial, que consistía en una única barra horizontal, por uno formado por dos barras en “X” cuya resistencia en caso de impacto lateral es mucho mayor.

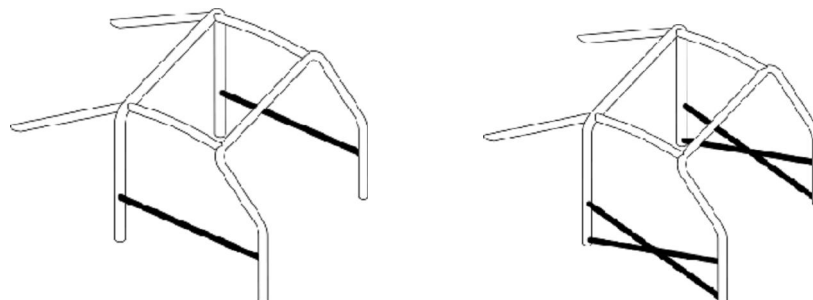


Figura 69: Diferentes disposiciones barra de puertas.

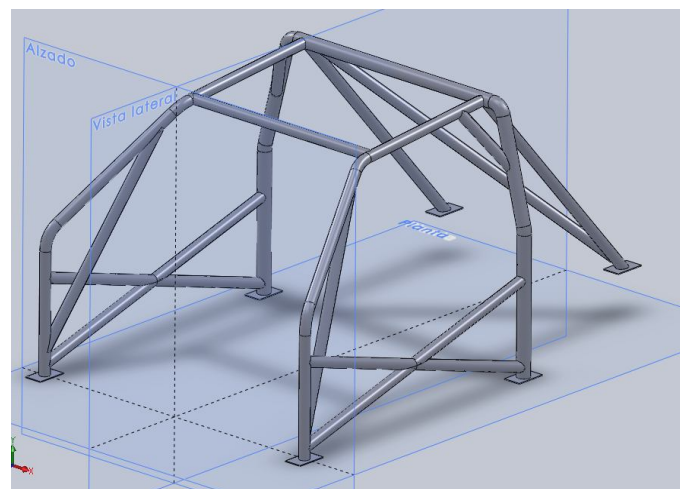


Figura 70: Aspecto general del diseño 4.

5.4.1 - ENSAYO 2.2

Realizo primero este ensayo ya que era el que hacía que la estructura anterior no cumpliera la normativa.

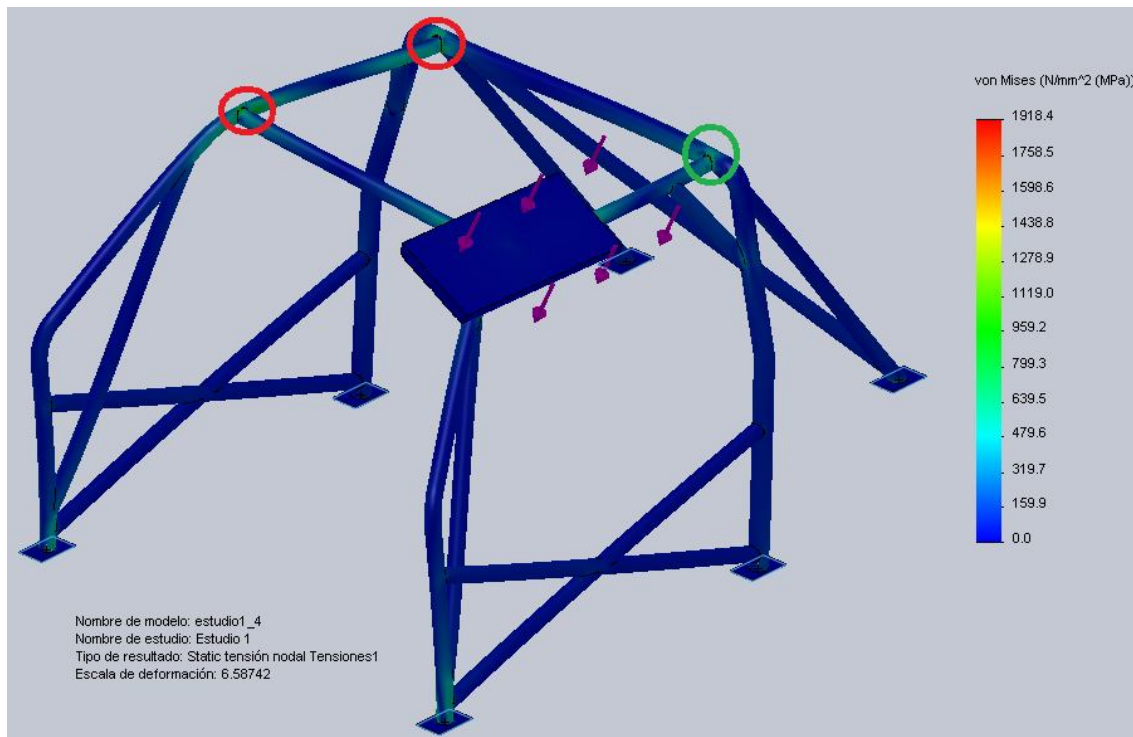


Figura 71: Tensiones ensayo 2.1

5.4.1.1 - Tensiones:

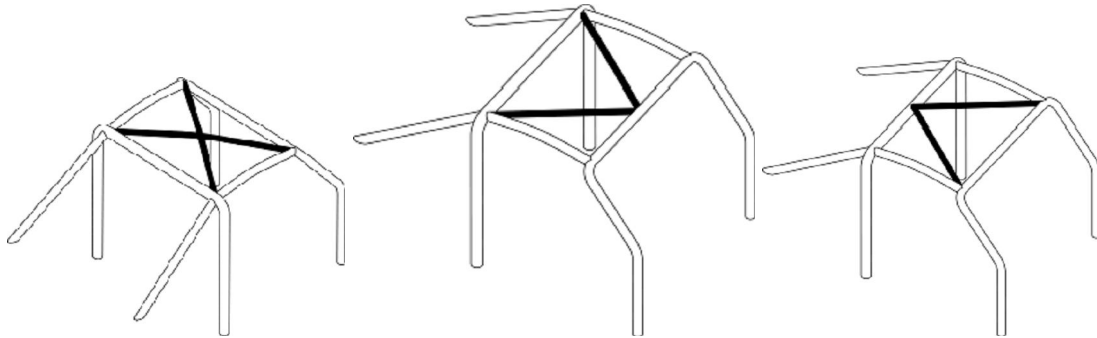
- Unión arco lateral derecho – Arco principal
 - o Diseño Pilares puertas: 842MPa
 - o Diseño actual: 811,6MPa < 1000MPa
- Unión arco lateral izquierdo – Barra transversal
 - o Diseño Pilares Puertas: 1172,8MPa
 - o Diseño actual: 1100MPa > 1000MPa
- Unión arco lateral izquierdo – Arco principal
 - o Diseño Pilares Puertas: 1396MPa
 - o Diseño actual: 1222,6MPa > 1000MPa

Se ha conseguido reducir algo las tensiones de los puntos críticos, pero no lo suficiente como para que cumpla la normativa.

Hay que disminuir la deformada de la barra transversal delantera.

5.5 - DISEÑO 5

Como se dijo anteriormente, hay que controlar los desplazamientos del arco delantero. Para ello aumentaremos la rigidez del techo añadiendo nuevas barras, siguiendo las directrices de la RFEDA en el artículo 8.3.2.1.3 – Elementos de refuerzo en el techo.



Figuras 72, 73 y 74: Diferentes disposiciones barras en techo.

También voy a añadir una barra diagonal en el arco trasero principal, que mejorará el comportamiento de éste en caso de impacto lateral y reducirá las torsiones que sufrirá el conjunto barras-chasis a la hora de tomar una curva.

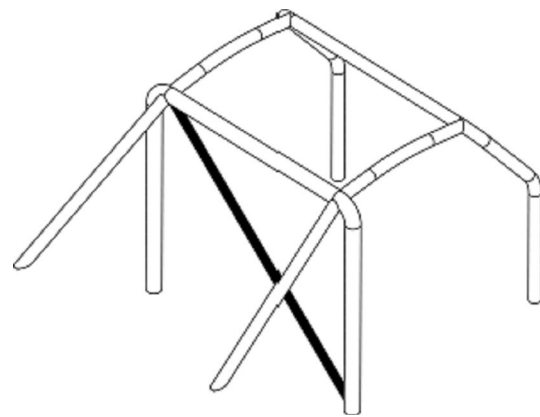


Figura 75: Barra diagonal.

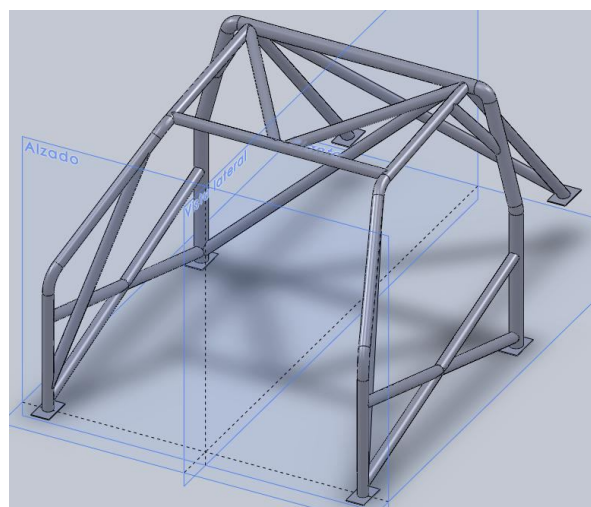


Figura 76: Aspecto general del diseño 5.

5.5.1 - ENSAYO 2.2

5.5.1.1 - Tensiones:

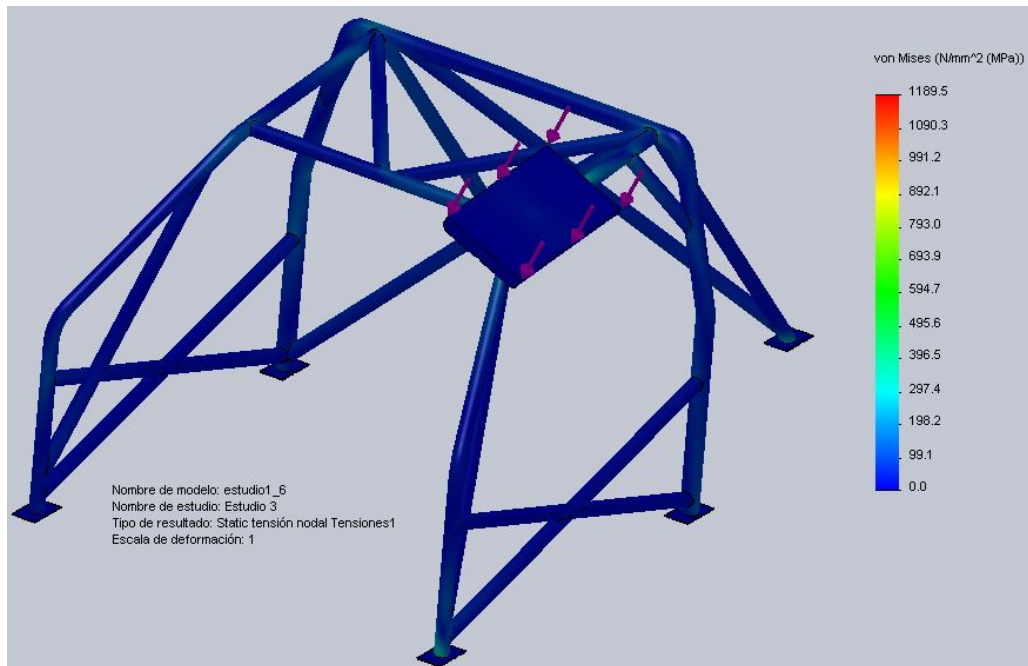
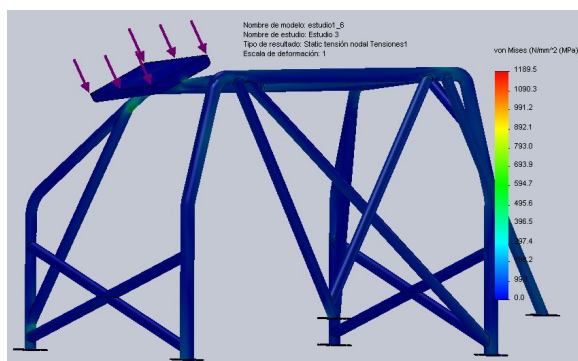


Figura 77: Tensiones ensayo 2.2

- Unión arco lateral derecho – Arco principal
 - o Diseño Pilares puertas: 811,6MPa
 - o Diseño actual: 237,3MPa
- Unión arco lateral izquierdo – Barra transversal
 - o Diseño Pilares Puertas: 1100MPa
 - o Diseño actual: 98,3MPa
- Unión arco lateral izquierdo – Arco principal
 - o Diseño Pilares Puertas: 1222,6MPa
 - o Diseño actual: 111MPa

Se ha solucionado de manera notable la concentración de tensiones que se producían en esos puntos. Revisamos las demás partes de la estructura:



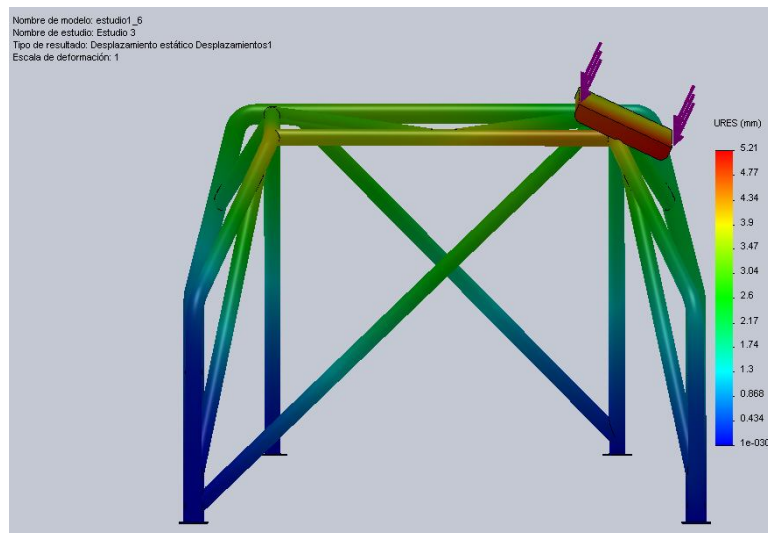
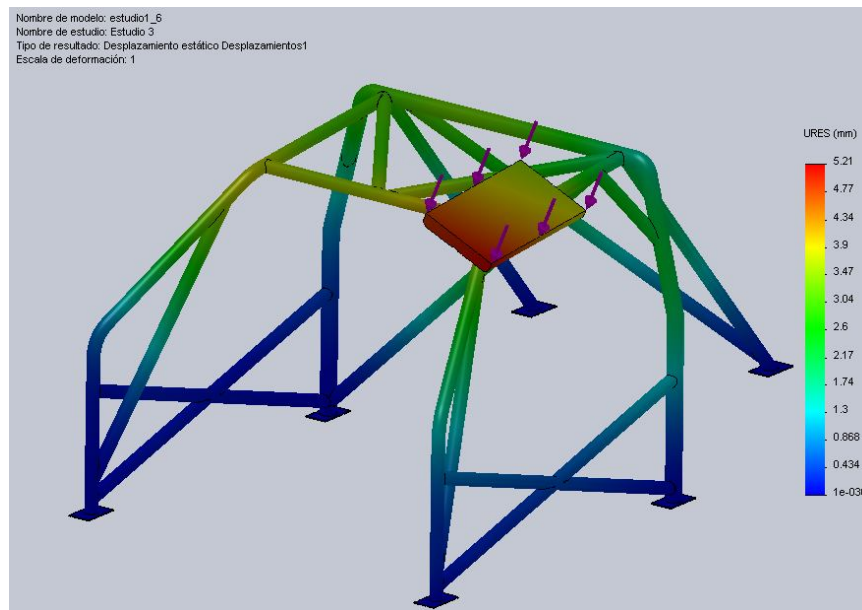
La tensión de Von Misses máxima que se produce en la estructura es de 501MPa

CUMPLE LA NORMATIVA

Figura 78: Tensión de Von Misses.

5.5.1.2 - Desplazamientos:

Ahora que he ratificado que las tensiones de Von Mises producidas no dan lugar a la rotura de ninguna parte de la estructura puedo analizar los desplazamientos de la misma para comprobar que son menores de 100mm y así poder afirmar que, para este ensayo, cumple la normativa tanto en rotura como en desplazamientos.



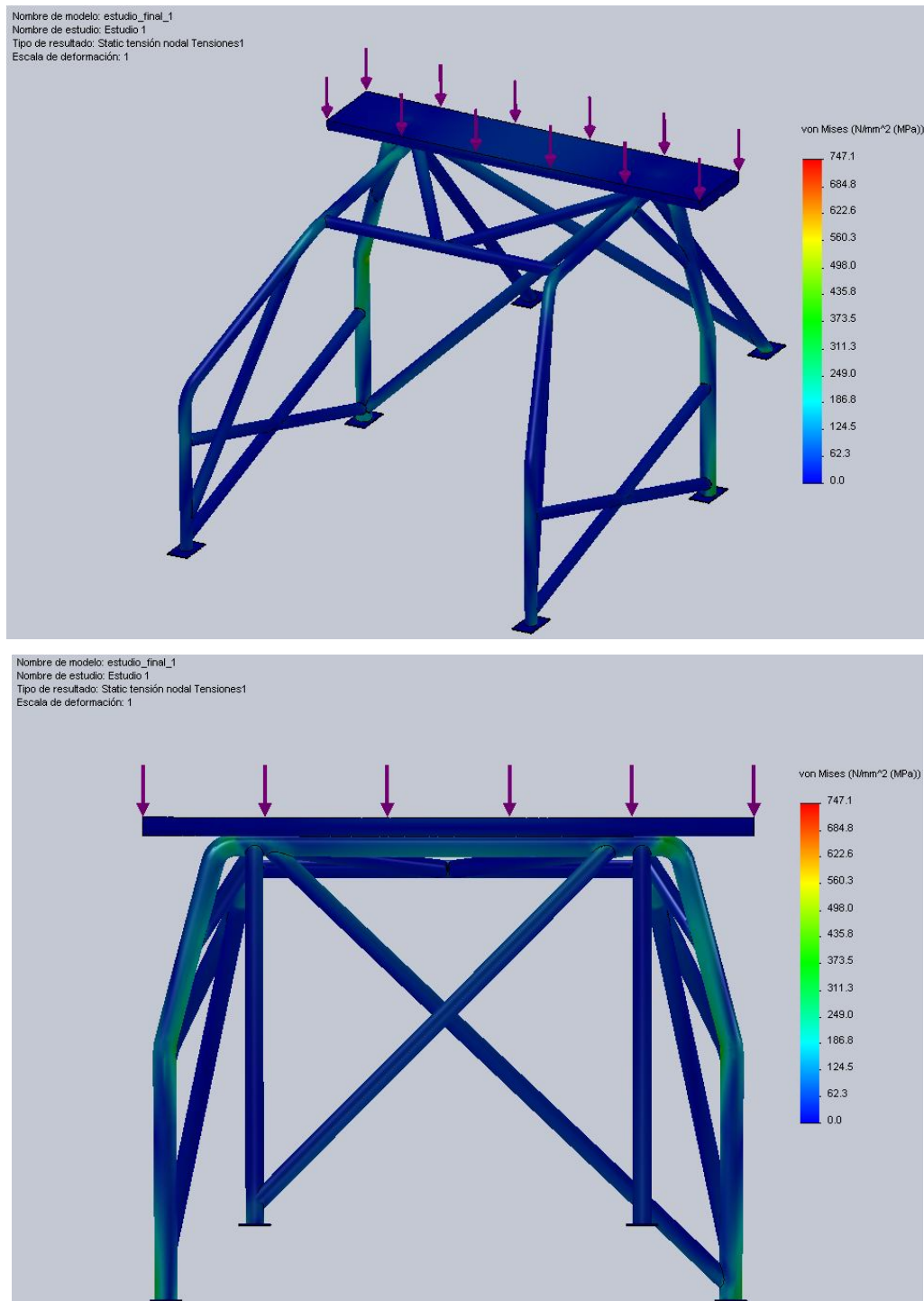
Figuras 79 y 80: Desplazamientos ensayo 2.2

Los desplazamientos máximos no pasan de los 5mm, una longitud mucho menor a los 100mm que, como máximo, tolera la normativa FIA.

CUMPLE LA NORMATIVA EN TODOS LOS ASPECTOS

5.5.2 - ENSAYO 1

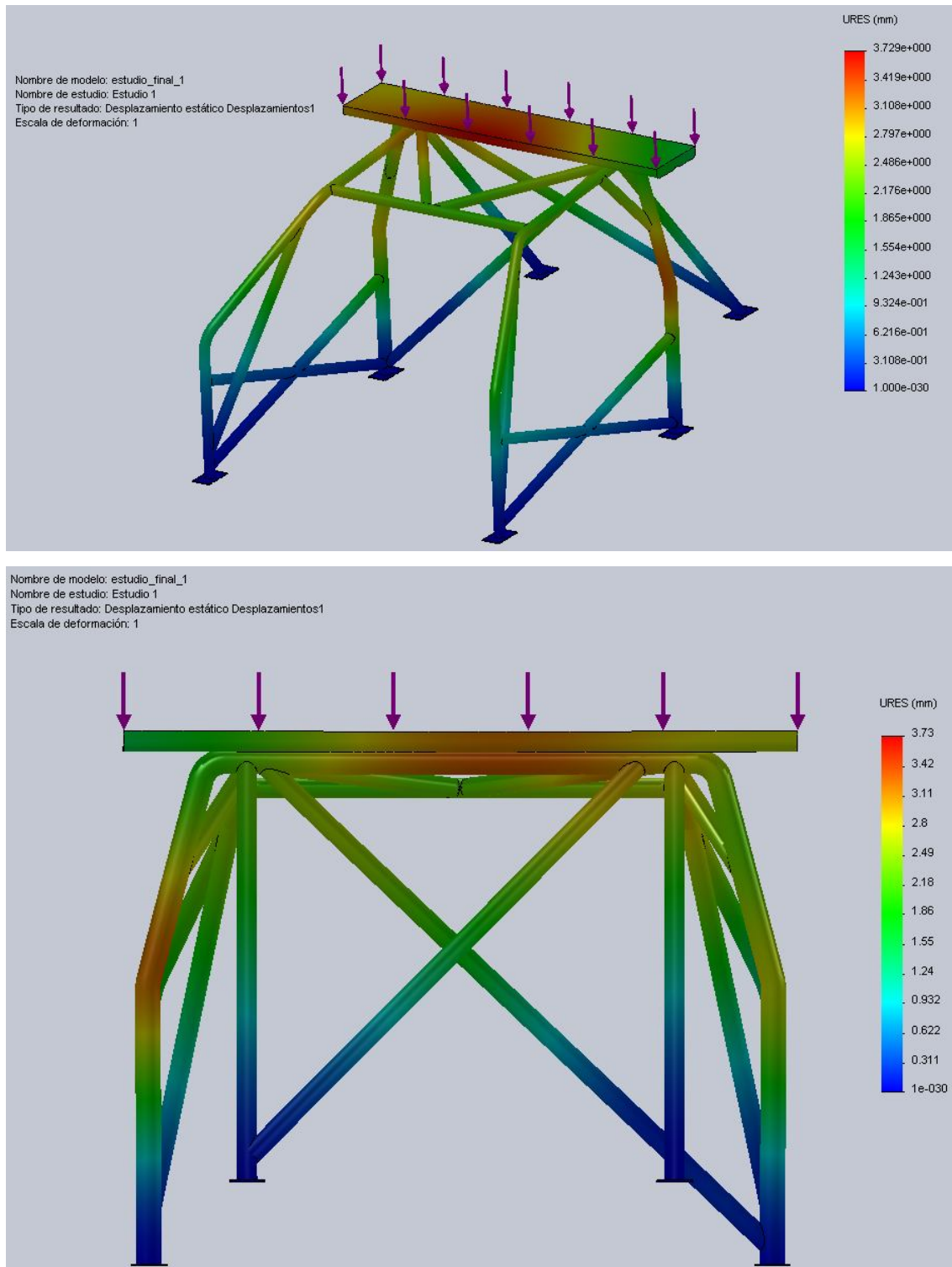
5.5.2.1 - Tensiones:



Figuras 81 y 82: Tensiones ensayo 1.

La tensión de Von Misses máxima que aparece en el arco de seguridad es menor que el límite de resistencia a la tracción del material, por lo que no se producen roturas. → **CUMPLE LA NORMATIVA**

5.5.2.2 - Desplazamientos:



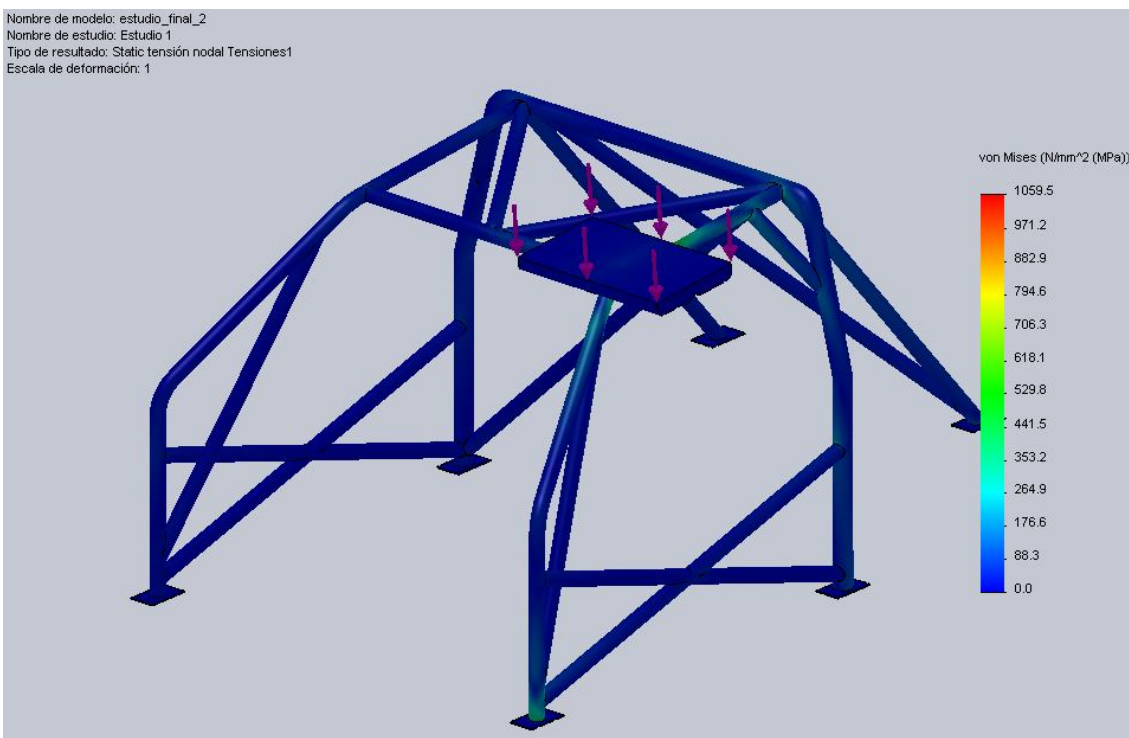
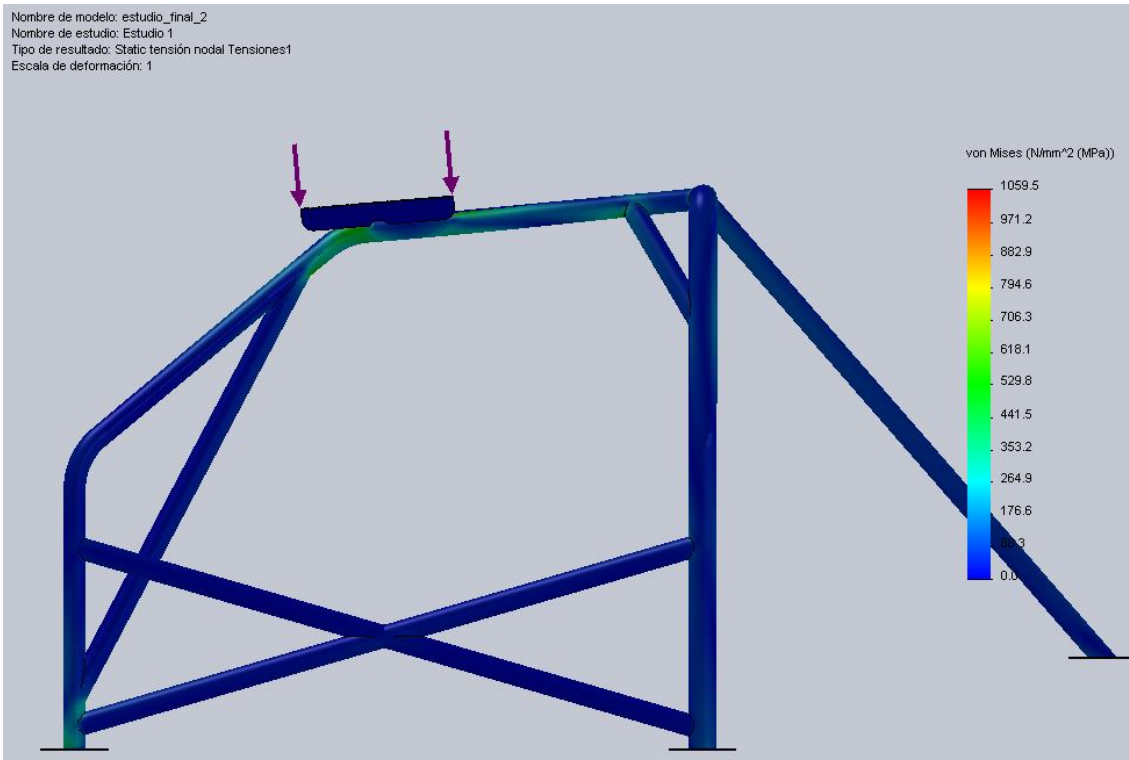
Figuras 83 y 84: Desplazamientos ensayo 1.

El máximo desplazamiento que se produce es de 3,73mm, que es mucho menor que el máximo permitido por la FIA (50mm)

CUMPLE LA NORMATIVA EN TODOS LOS ASPECTOS

5.5.3 - ENSAYO 2.1

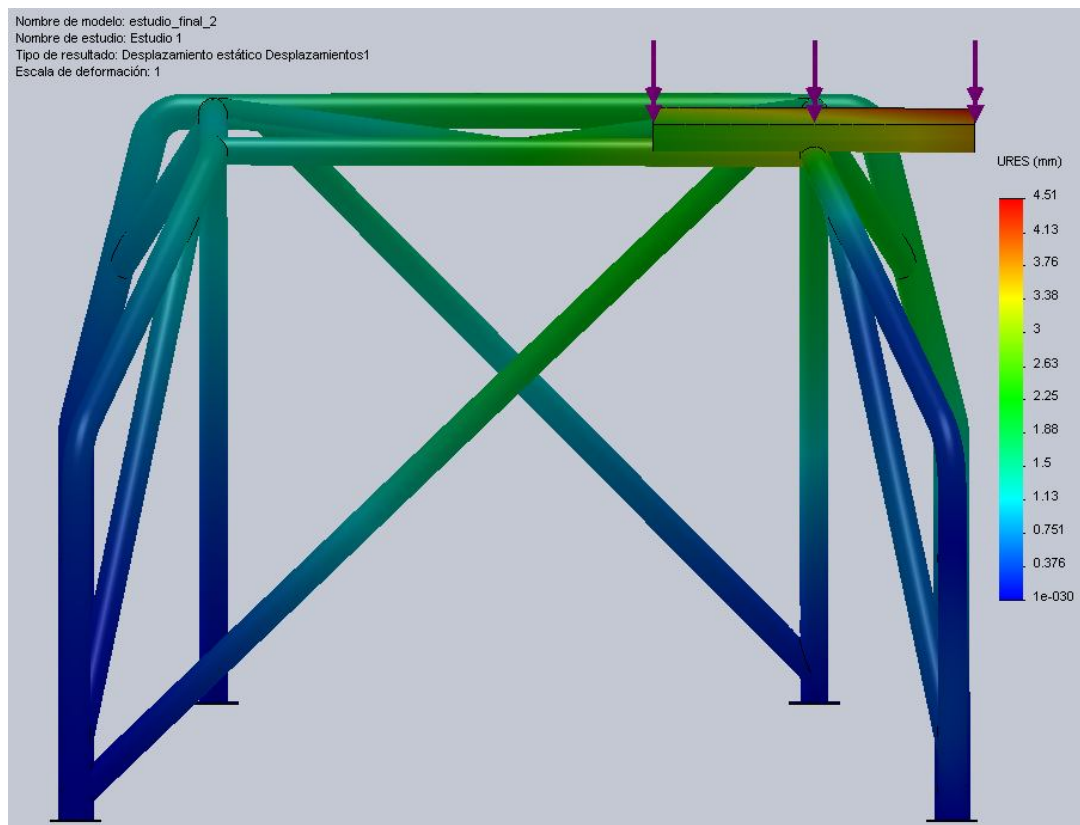
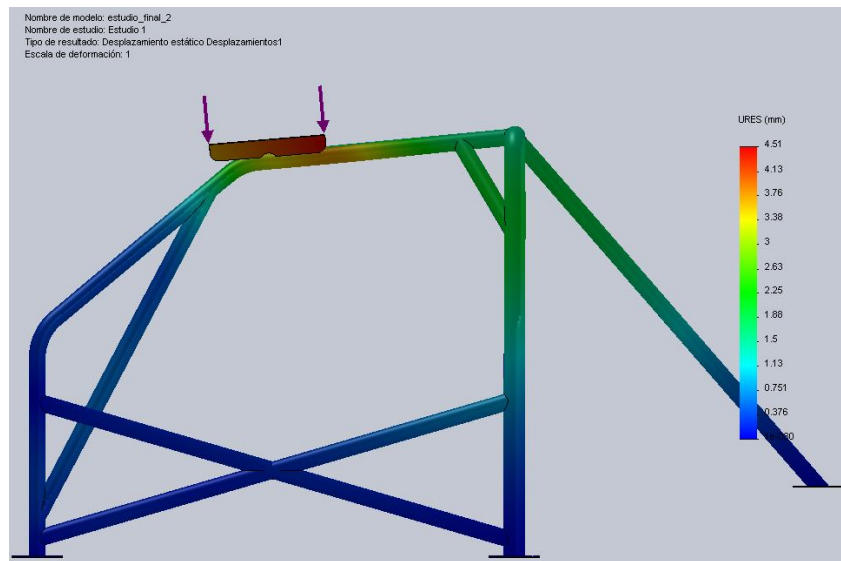
5.5.3.1 - Tensiones:



Figuras 85 y 86: Tensiones ensayo 2.1

Las tensiones máximas son de, alrededor, 600MPa, muy por debajo del límite de resistencia del material seleccionado.

5.5.3.2 - Desplazamientos:



Figuras 86 y 87: Desplazamientos ensayo 2.1

Los desplazamientos son de apenas 5mm, 20 veces menos de lo que estipula la normativa FIA como tolerables.

Al haber superado todos los estudios puedo afirmar que el DISEÑO 5 cumple por completo la normativa FIA.

Una vez que tenemos fijado el diseño definitivo la jaula de seguridad es interesante conocer las propiedades físicas más importantes, que son las siguientes:

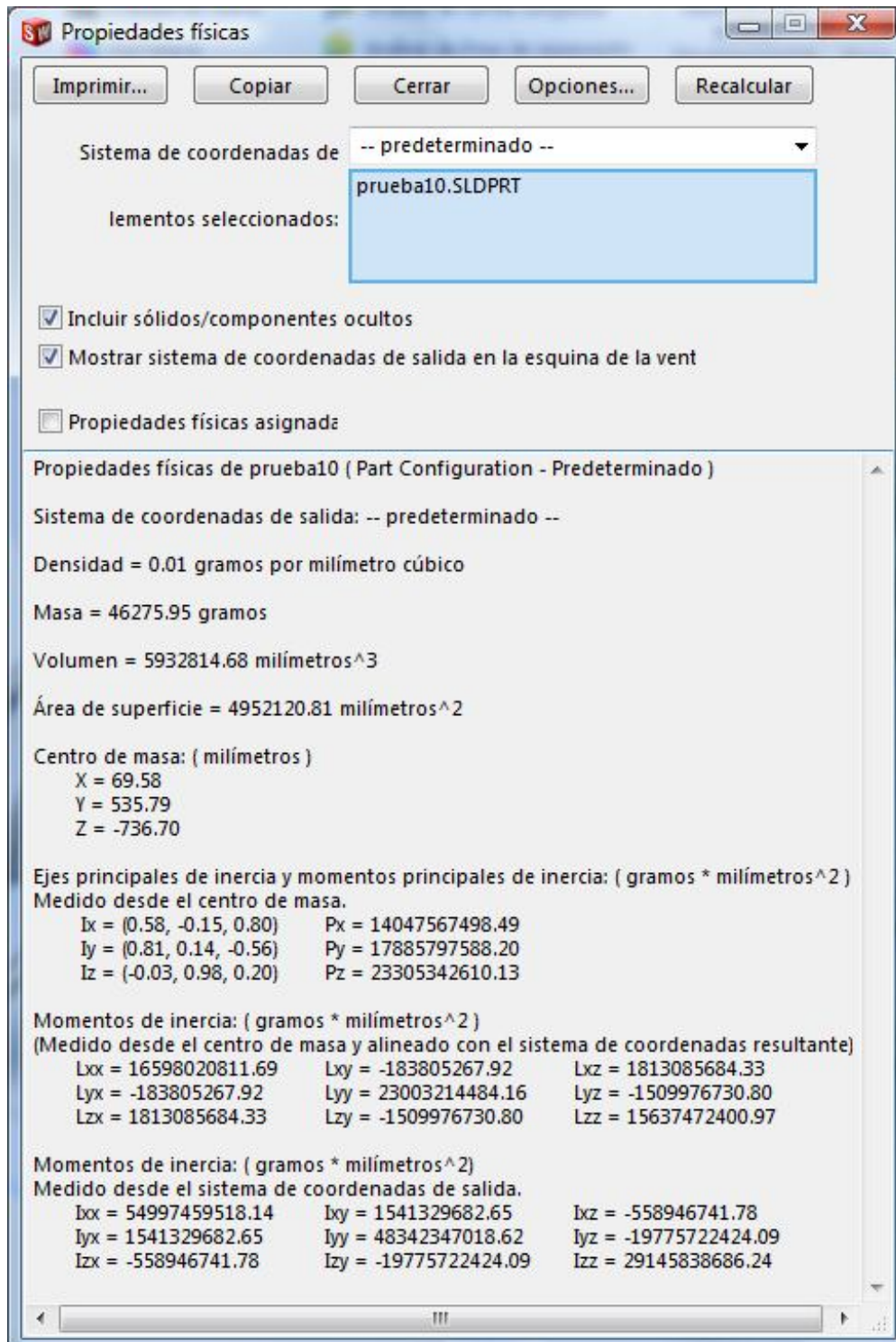
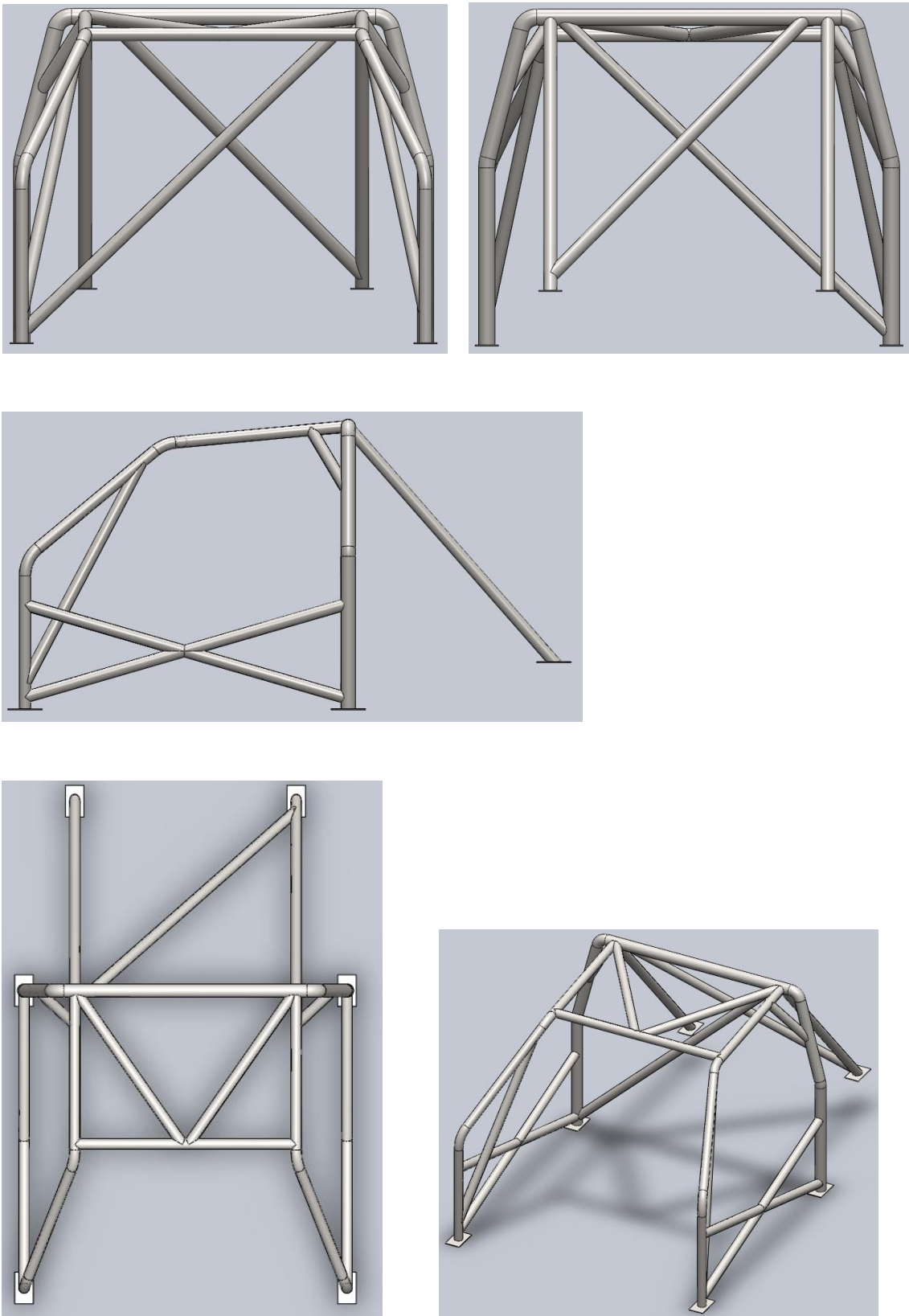


Figura 88: Propiedades físicas

5.6 - IMÁGENES DE LA ESTRUCTURA FINAL



Figuras 89, 90, 91, 92 y 93: Diferentes perspectivas del aspecto final de la estructura

6 – Presupuesto

Es conveniente realizar un presupuesto aproximado del coste de diseño y fabricación.

- Coste de materiales:

Tabla de precios sacada de: <http://www.25crmo4.com>

Tamaño (mm)	Densidad lineal (Kg/m)	€/m
40x2	1,90	12,95
50x2	2,37	15,75

Tabla 3: Lista de precios

Peso total de la estructura: 46275,95 gramos.

Peso del arco principal (50x2mm) = 11Kg

Peso de las demás barras (40x2mm) = 35275,95g = aprox. 36kg

Longitud de tubo de 50x2mm = $11/2,37 = 4,64\text{m}$ = aprox. 5m

Longitud de tubo de 40x2mm = $36/1,90 = 18,9\text{m}$ = aprox. 19m.

Coste de materiales = 324,80€

Coste/hora de diseño = 40€

Horas de diseño: 40h → **Coste de diseño = 1600€**

Coste mano de obra/hora = 35€

Horas de mano de obra: 5h → **Coste de mano de obra = 175€**

PRESUPUESTO TOTAL = 2099,80€

Teniendo en cuenta que es el presupuesto de fabricación para UN SÓLO arco de seguridad, está bastante ajustado. La idea es de fabricar grandes lotes por lo que el costo de diseño se podría reducir a 100€ por arco fabricado y a partir del decimosexto arco vendido habremos amortizado los 1600€.

Precio de venta al público: 600€aprox.

Precio de un arco comercial en la actualidad: 515,70€.

CONSEGUIMOS UN DISEÑO
MUCHO MÁS EFICAZ POR TAN
SOÓLO 85€ MÁS.



7 - Conclusiones finales:

Como conclusiones finales de este proyecto de fin de carrera podemos decir que el uso de software CAD y su posterior módulo de análisis por elementos finitos facilitan enormemente el cálculo de este tipo de estructuras 3D ya que de otra manera resultaría muy complicado realizar el estudio correctamente. Además hay que destacar el ahorro que supone no tener que fabricar y testear cada diseño en la realidad.

Otra de las conclusiones importantes es que sin la reglamentación FIA en cuestión de normativa de seguridad sería bastante complicado realizar un diseño fiable de forma más o menos rápida y, sobre todo, que GARANTIZASE la SEGURIDAD de los pilotos, que es lo más importante.

A la vista de los datos que han arrojado las diferentes simulaciones, tanto de tensiones como de desplazamientos, podemos afirmar que el último diseño es un diseño ÓPTIMO que superará con éxito las pruebas a las que será sometido una vez se haya llevado a la realidad.

Se inició con un arco de seguridad muy básico que no era capaz de aguantar las cargas a las que era solicitado y tras pasar por varios diseños, donde en todos ellos se compartía el mismo criterio, AUMENTAR LA RIGIDEZ de los distintos tubos que conformaban nuestro diseño inicial, he llegado a encontrar una configuración que es capaz de soportar con un amplio margen de seguridad los esfuerzos que dicta la norma.

8 - TRABAJOS FUTUROS

1. Hacer el diseño de un arco atornillado y ver cómo se comporta en las diferentes sollicitaciones que dicta la normativa FIA.
2. Analizar el comportamiento a fatiga
3. Modelar la carrocería del coche y realizar un conjunto formado por ésta y por la jaula de seguridad montada en su interior. Una vez tengamos el conjunto completamente modelado y definido realizar los siguientes ensayos:
 - a. Debido a que el choque más peligroso al que se enfrentan los ocupantes es el de impacto lateral contra pilar, se podría poner en marcha un análisis dinámico en el que se estudiara este caso.
 - b. Una vez que tenemos definido el conjunto carrocería-jaula de seguridad sería muy interesante estudiar los MODOS DE VIBRACIÓN del mismo y poder comparar el comportamiento de la carrocería antes y después de haber instalado el entramado de barras.
 - c. Otro de los motivos por el que se instalan las barras antivuelco es para aumentar la rigidez torsional del vehículo para hacerle más efectivo en el paso por curva. Llevar a cabo análisis dinámicos con diferentes torsiones en la carrocería sería muy interesante para ver qué cantidad de barras y en qué disposición hay que colocarlas para poder disminuir al máximo el “retorcimiento” de la carrocería al realizar un viraje.



9 - BIBLIOGRAFÍA:

1. CALLISTER WILLIAM D. *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Editorial Reverté S.A. Barcelona 2005.
2. RFEDA *Anuario Deportivo Automovilístico 2009*. Real Federación Española de Automovilismo. Madrid 2008
3. KUROWSKI PAUL M. *Engineering Analysis with COSMOSWorks Professional* 2006. SDC Publications.
4. SOLIDWORKS. *Meshing – Understanding the Technology Inside Design Analysis*. Solidworks Corporation.
5. FIA. *RH Pour Armatures de Sécurité / HR For Safety Cages*.



10 - WEBS VISITADAS:

1. <http://www.fia.com/en-GB/Pages/HomePage.aspx>
2. <http://www.rfeda.es/tecnica/reglamentos.asp>
3. [http://www.ompracing.it/prodotti.html?categorycode=GROLLBARS&chan
gelanguage=es](http://www.ompracing.it/prodotti.html?categorycode=GROLLBARS&chan
gelanguage=es)
4. [http://www.oviedo.es/personales/carbon/grafito%20y%20fibras/fibras%2
0de%20carbono.htm](http://www.oviedo.es/personales/carbon/grafito%20y%20fibras/fibras%2
0de%20carbono.htm)
5. http://www.motoresenv.com/notas_lectores_50.htm
6. <http://www.iberisa.com/soporte/cosmos.htm>
7. [http://www.matbase.com/material/ferrous-metals/high-grade-
steel/25crmo4/properties](http://www.matbase.com/material/ferrous-metals/high-grade-
steel/25crmo4/properties)

**ANEXO 1****SAFETY ROLL BAR CERTIFICATE****BLOCK CAPITALS****Manufacturer:** ...UC3M.....**Roll Bar Model No/Designation:**PFC102009...**Address:**Av. De la Universidad 30 – 28911 Leganés – Madrid – ESPAÑA.....**CARS FOR WHICH ROLL BAR IS DESIGNED****Make:**Citroen.....**FA Homologation No:****Model/s:**Saxo.....**Weight of Car/s:**lbs850.....Kgs.....**ROLL BAR ESPECIFICATION****Main tube Dia:**ins.....50...mm.**Brace/s Dia:**.....ins.....40....mm**Thickness:**ins.....2.....mm.**Thickness:**ins.....2.....mm**Type of welding:** ...MIG**Weight of total assembly:** 46,28Kg**Type of mounting:** To be entirely welded to the body**DECLARATION BY DESIGNER for Roll Bars not complying with FIA design details**

I declare the roll bar described has been:

- Shown by own stress calculating.

To meet the strength requirements specified in current FIA regulations. In addition, I declare that all details of the roll bar design including joints, mounting and attachments are also in conformity with these regulations.

Date:..... Signature: Name:.....

Professional Qualifications:

Acceptable signatories must be a Corporate Member of the Royal Aeronautical Society or the Institution of Civil, Mechanical or Structure Engineers.

DECLARATION BY MANUFACTURER I certify that the present safety structure complies with the conditions of the FIA Appendix J in particular with regard to its attachments, its connection an its stress resistances.

Date.....Signature.....

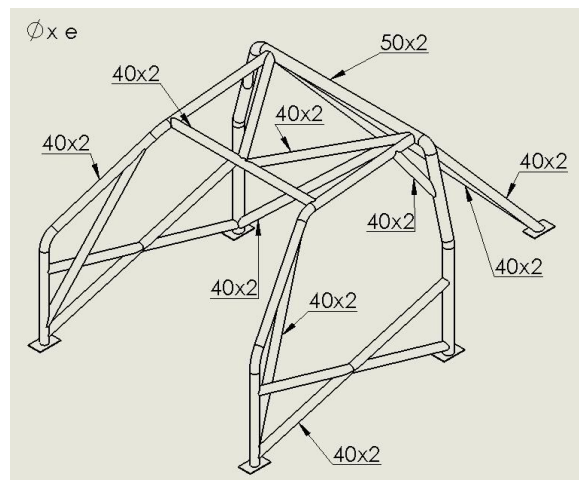
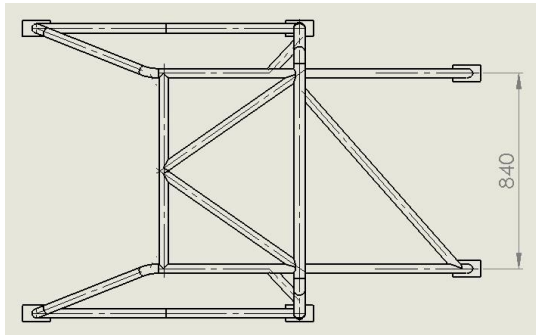
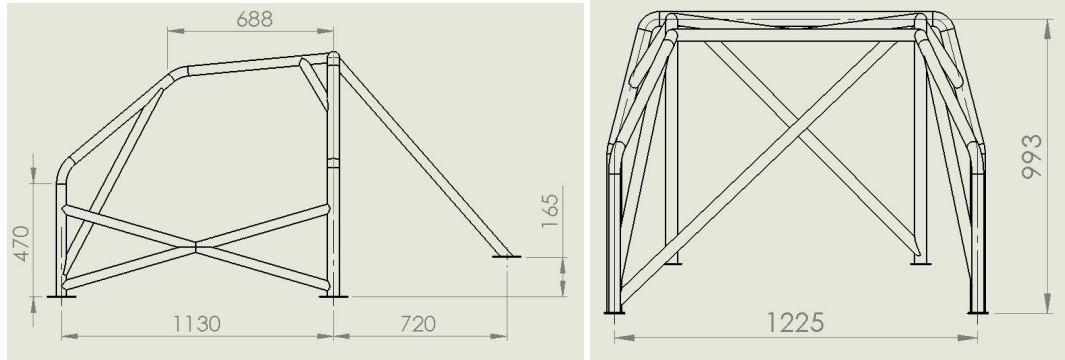
Status:

THE CERTIFICATE BECOMES INVALID IF THE ROLL BAR STRUCTURE IS MODIFIED IN ANY WAY FROM THE DESIGN OVERLEAF.

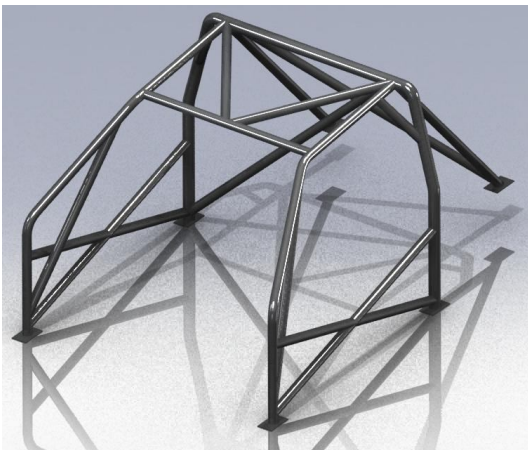
ONLY VALID IF ON RACMSA SECURITY PAPER OR PERFORATED WITH RACMSA SEAL



Sheet 2



Accurate Engineering Drawing of roll bar include detailed drawings of all joints and mountings. Tube dia wall thickness must be specified.



Photograph of complete structure outside car

**THE RACMSA ACCEPT THAT THIS DOCUMENT HAS BEEN COMPLETED
IN ACCORDANCE WITH THE REGULATIONS.
ONLY VALID IF ON RACMSA SECURITY PAPER OR PERFORATED WITH
RACMSA SEAL.**

ANEXO 2**ARTÍCULO 253 – 2009 Equipamiento de seguridad****ARTÍCULO 8: ESTRUCTURA DE SEGURIDAD****8.1 Generalidades:**

La instalación de una estructura de seguridad es obligatoria.

Debe estar:

- a) Fabricada de acuerdo a los requerimientos de los artículos siguientes;
- b) Homologada o certificada por una ADN de acuerdo a los reglamentos de homologación para estructuras de seguridad; Se debe presentar a los Comisarios Técnicos de la prueba una copia original del documento o certificado de homologación aprobado por la ADN y firmado por técnicos cualificados que representen al fabricante.

Toda nueva estructura de seguridad homologada por una ADN y vendida a partir del 01/01/2003, deberá estar identificada, de forma individual, por una placa de identificación colocada por el constructor que no pueda copiarse ni retirarse (es decir, soldada, troquelada o un adhesivo auto destructible).

La placa de identificación debe portar el nombre del constructor, el número de homologación de la ADN y el número de serie único del fabricante.

Deberá llevarse a bordo un certificado mostrando los mismos números identificativos y presentarse a los comisarios técnicos de la prueba.

- c) Homologada por la FIA de acuerdo a los reglamentos de homologación para estructuras de seguridad. Esta estructura de seguridad debe ser objeto de una extensión (VO) de la ficha de homologación del vehículo homologado por la FIA.



La identificación del fabricante y un número de serie debe ser claramente visible en todas las estructuras homologadas y vendidas desde el 1 de enero de 1997.

La ficha de homologación de la estructura debe especificar cómo y dónde se indica esta información, y los compradores deben recibir un certificado numerado correspondiente a la misma.

Para los siguientes vehículos, la estructura de seguridad debe estar homologada por FIA:

Variante Kit Súper 1600, Variante Kit Súper 2000, Variante Kit Súper 2000 Rallye, Variante World Rallye Car.

Toda modificación de una estructura de seguridad homologada o certificada está prohibida.

Será considerado como modificación cualquier proceso sobre la estructura por medio de mecanizado o soldadura que implique una modificación permanente del material o de la estructura de seguridad.

Cualquier reparación de una estructura de seguridad dañada tras un accidente debe llevarse a cabo por el fabricante de la estructura o con su aprobación.

Los tubos de las estructuras de seguridad no deben transportar fluidos ni ninguna otra cosa.

Las estructuras de seguridad no deben dificultar la entrada o salida del piloto y copiloto.

Los elementos de la estructura podrán ocupar el espacio de los ocupantes atravesando el salpicadero y los revestimientos delanteros, así como el asiento y revestimientos traseros. Los asientos traseros pueden plegarse.

8.2 Definiciones:

8.2.1 Estructura de seguridad:

Estructura multitubular instalada en el habitáculo cerca de la carrocería, concebida con el fin de evitar una deformación importante de la carrocería (chasis) en caso de accidente.

8.2.2 Arco de seguridad:

Estructura tubular formando un arco con dos bases de anclaje.

**8.2.3 Arco principal (dibujo 253-1):**

Estructura prácticamente vertical constituida por un arco tubular de una sola pieza (inclinación máxima $\pm 10^\circ$ con respecto a la vertical) situado en un plano transversal al vehículo, e inmediatamente detrás de los asientos delanteros.

8.2.4 Arco delantero (dibujo 253-1):

Similar al arco principal pero su forma sigue los montantes y el borde superior del parabrisas

8.2.5 Arco lateral (dibujo 253-2):

Estructura casi longitudinal y prácticamente vertical constituida por un arco tubular de una sola pieza, situado a lo largo de la parte derecha o izquierda del vehículo, siguiendo el pilar delantero del mismo el montante del parabrisas, y los montantes traseros siendo casi verticales y estando justo detrás de los asientos delanteros.

8.2.6 Semiarco lateral (dibujo 253-3):

Idéntico al arco lateral pero sin el pilar trasero.

8.2.7 Tirante longitudinal:

Tubo casi longitudinal uniendo las partes superiores del arco principal y delantero.

8.2.8 Tirante transversal:

Tubo semi-transversal que une los miembros superiores de los arcos o semiarcos laterales.

8.2.9 Tirante diagonal:

Tubo transversal que une uno de los ángulos superiores del arco principal o uno de los extremos del miembro transversal en el caso de un arco lateral, y el pie de anclaje opuesto inferior del arco

El extremo superior de un tirante trasero con el punto de anclaje inferior del otro tirante trasero.

8.2.10 Tirantes desmontables:

Miembros estructurales de una estructura de seguridad que se pueden desmontar.

8.2.11 Refuerzo de la estructura:

Miembro añadido a la estructura de seguridad para mejorar su resistencia.

8.2.12 Pie de anclaje:

Placa soldada al final de un tubo de la estructura para permitir su atornillado y/o soldadura sobre la carrocería/chasis, generalmente sobre una placa de refuerzo.

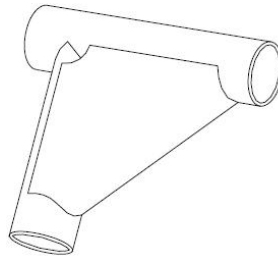
8.2.13 Placa de refuerzo:

Placa metálica fijada a la carrocería/chasis bajo el pie de anclaje de un arco para repartir mejor la carga sobre la carrocería/chasis.

8.2.14 Cartela:

Refuerzo para un ángulo o unión hecho de chapa doblada en forma de U (dibujo 253-34) de espesor no inferior a 1,0mm.

Los extremos de dichos refuerzos deben estar situados a una distancia del punto superior del ángulo de 2 a 4 veces el diámetro del tubo mayor de los unidos.



253-34

8.3 Especificaciones

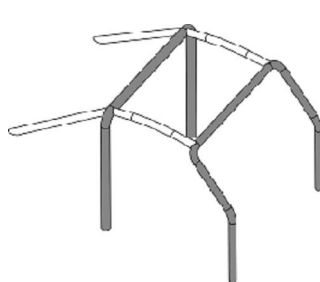
8.3.1 Estructura básica

La estructura básica debe estar realizada de acuerdo a uno de los diseños siguientes:

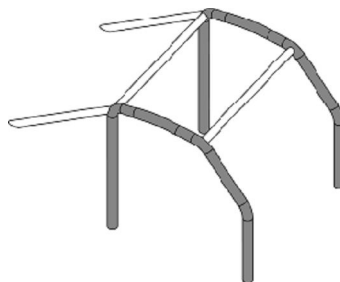
1 arco principal + 1 arco delantero + 2 miembros longitudinales + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje (dibujo 253-1)

2 arcos laterales + 2 miembros transversales + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje (ver dibujo 253-2)

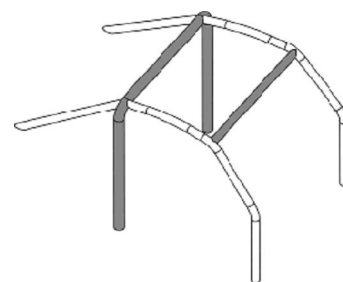
1 arco principal + 2 semiarcos laterales + 1 miembro transversal + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje (ver dibujo 253-3)



253-1



253-2



253-3

La parte vertical del arco principal debe ser tan recta como sea posible y estar lo más próxima al contorno interior de la carrocería, y tener una sola curvatura en su parte vertical inferior. El montante delantero de un arco delantero o de un arco lateral debe seguir los montantes del parabrisas lo más cerca posible y tener una sola curvatura en su parte vertical inferior.

De cara a fabricar la estructura de seguridad, las conexiones de los miembros transversales de los arcos laterales, las conexiones de los miembros longitudinales al arco principal y delantero, así como la conexión de un semiarco lateral al arco principal, deben estar situadas al nivel del techo.

En cualquier caso, no debe haber más de 4 uniones desmontables a nivel del techo.



Los tirantes longitudinales traseros deben anclarse cerca del techo y cerca de los ángulos superiores exteriores del arco principal a ambos lados del vehículo, permitiéndose por medio de conexiones desmontables.

Deberán formar un ángulo mínimo de 30° con la vertical y estar dirigidos hacia atrás., serán rectos y tan cercanos como sea posible a los paneles interiores laterales de la carrocería.

8.3.2 Diseño:

Una vez que la estructura básica está definida, debe ser completada con miembros y refuerzos obligatorios (ver artículo 253-8.3.2.1), a los cuales se podrán añadir miembros y refuerzos opcionales (ver artículo 253-8.3.2.2).

8.3.2.1 Tirantes y refuerzos obligatorios:

8.3.2.1.1 Tirante diagonal:

Vehículos homologados antes del 01/01/2002:

La estructura debe incorporar uno de los tirantes diagonales definidos por los dibujos 253-4, 253-5 y 253-6. La orientación de la diagonal puede invertirse.

En el caso del dibujo 253-6, la distancia entre los dos anclajes de la carrocería/chasis no debe ser superior a 300mm.

Los miembros deben ser rectos y pueden ser desmontables.

El extremo superior de la diagonal debe unirse al arco principal a menos de 100mm de la unión del arco principal con el tirante longitudinal trasero, o al tirante longitudinal trasero a menos de 100mm de su unión con el arco principal (ver dibujo 253-52 para las medidas).

El extremo inferior de la diagonal debe unirse al arco principal o a un tirante longitudinal trasero a menos de 100mm del pie de anclaje (excepto para el caso del dibujo 253-6).

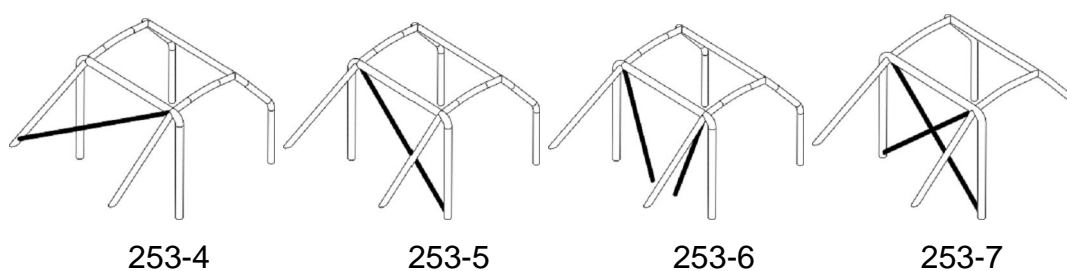
Vehículos homologados desde el 01/01/2002:

La estructura debe tener dos miembros diagonales en el arco principal de acuerdo al dibujo 253-7.

Los miembros deben ser rectos y pueden ser desmontables.

El extremo inferior de la diagonal debe unirse con el arco principal o con el tirante trasero a menos de 100mm del pie de anclaje (ver dibujo 253-52 para las medidas).

El extremo superior de la diagonal debe unirse al arco principal a menos de 100mm de la unión de este con el tirante posterior.



8.3.2.1.2 Tirantes de puertas:

Se deberán montar uno o varios tirantes longitudinales a cada lado del vehículo de acuerdo a los dibujos 253-8, 253-9, 253-10 y 253-11 (dibujos 253-9, 253-10 y 253-11 para vehículos homologados a partir de 01-01-2007).

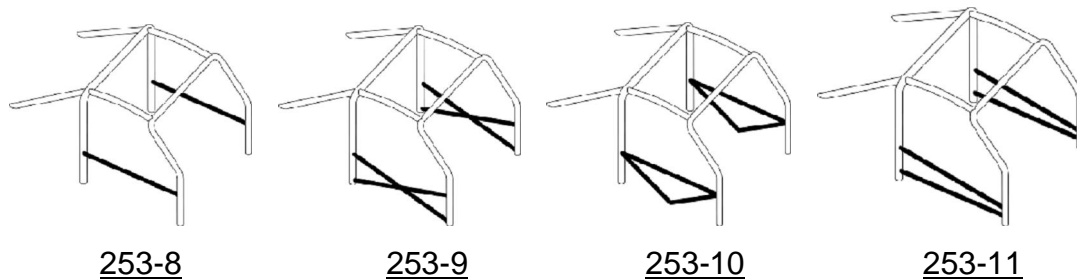
Podrán ser desmontables.

La protección lateral estará situada tan alta como sea posible pero sus puntos de anclaje superiores no estarán a más de la mitad de la altura total de la puerta medida desde su base. Si estos puntos de anclaje superiores están situados delante o detrás de la apertura de la puerta, esta limitación de altura es también válida para la intersección correspondiente al tirante y la apertura de la puerta.

En el caso de una protección en "X" (dibujo 253-9), es aconsejable que los puntos de anclaje inferiores se fijen directamente sobre el larguero longitudinal de la carrocería (chasis) y que al menos una parte de la "X" sea una barra de una sola pieza.

La conexión de los tirantes de puertas con el pilar de refuerzo del parabrisas (dibujo 253-15) está autorizada.

Para competiciones sin copiloto, dichos miembros pueden ser montados sólo en el lado del conductor.



8.3.2.1.3 Elementos de refuerzo de techo:

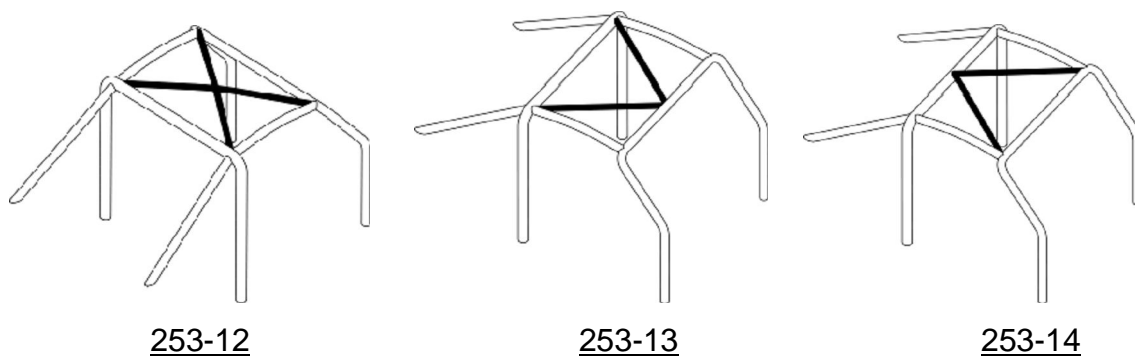
Únicamente vehículos homologados desde el 01/01/2005:

La parte superior de la estructura de seguridad debe cumplir con los dibujos 253-12, 253-13 y 253-14.

Los refuerzos pueden seguir la curvatura del techo.

Para competiciones sin copiloto, en el caso del dibujo 253-12 solamente, puede montarse un solo refuerzo pero su conexión delantera debe estar situada del lado del piloto.

Los extremos de los refuerzos deben estar a menos de 100mm de la unión entre arcos y miembros (esto no será de aplicación para la punta de la V formada por los refuerzos en los dibujos 253-13 y 253-14).



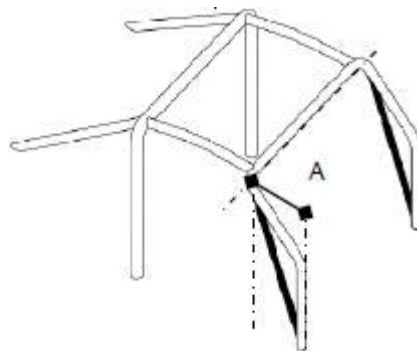
8.3.2.1.4 Pilar de refuerzo del parabrisas:

Únicamente vehículos homologados desde el 01/01/2006:

Deben estar montados a cada lado del arco delantero si la dimensión “A” es superior a 200mm (ver dibujo 253-15).

Este refuerzo puede ser curvado a condición de que sea rectilíneo en vista lateral y que el ángulo de la curvatura no exceda 20°. Su extremo superior debe estar a menos de 100mm de la unión entre el arco delantero (lateral) y el miembro longitudinal (transversal) (ver dibujo 253-52 para las medidas).

Su extremo inferior debe estar a menos de 100mm del pie de anclaje del arco (el pie de anclaje delantero en caso de arco lateral).



253-15

8.3.2.1.5 Refuerzo de ángulos y uniones:

Las uniones entre:

- los miembros diagonales del arco principal,
- los refuerzos del techo (configuración según dibujo 253-12 y sólo para vehículos homologados a partir de 01/01/2007),
- los tirantes de las puertas (configuración del dibujo 253-9),
- los tirantes de las puertas y los pilares de refuerzo del parabrisas (dibujo 253-15), deben estar reforzados por un mínimo de dos cartelas de acuerdo con el artículo 253-8.2.14.

Si los tirantes de las puertas y el pilar de refuerzo del parabrisas no están situados en el mismo plano, el refuerzo debe estar fabricado en chapa de acero, siempre que cumpla con las dimensiones del art. 253-8.2.14.



8.3.2.2 Tirantes y refuerzos opcionales:

Excepto otras indicaciones dadas en el artículo 253-8.3.2.1, los miembros y refuerzos mostrados en los dibujos 253-12 a 253-21 y 253-23 a 253-33, son opcionales y pueden ser instalados a voluntad del fabricante.

Deben estar o bien soldados o bien instalados mediante conexiones desmontables.

Todos los tirantes y refuerzos mencionados anteriormente pueden utilizarse por separado o combinados entre sí.

8.3.2.2.1 Refuerzo de techo (dibujos 253-12 a 253-14):

Opcionales únicamente para los vehículos homologados antes del 01/01/2005.

Para competiciones sin copiloto, en el caso del dibujo 253-12 solamente, puede montarse un solo refuerzo pero su conexión delantera debe estar situada del lado del piloto.

8.3.2.2.2 Pilar de refuerzo del parabrisas (dibujo 253-15):

Opcional únicamente para los vehículos homologados antes del 01/01/2006.

Este refuerzo puede ser curvado a condición de que sea rectilíneo en vista lateral y que el ángulo de la curvatura no exceda 20°.

8.3.2.2.3 Diagonales entre los tirantes traseros (dibujo 253-21):

La configuración del dibujo 253-21 puede ser reemplazada por la del dibujo 253-22, en el caso de que se instale un refuerzo en el techo de acuerdo con el dibujo 253-14.

8.3.2.2.4 Refuerzos de anclaje sobre la suspensión delantera (dibujo 253-25):

Los refuerzos deben estar conectados a los puntos de anclaje superiores de la suspensión.

8.3.2.2.5 Miembros transversales (dibujos 253-26 a 253-30):

Los miembros transversales montados sobre el arco principal o entre los tirantes traseros pueden usarse para los anclajes de los arneses de seguridad, conforme al art. 253-6.2 (prohibida la utilización de conexiones desmontables).

Para los miembros mostrados en los dibujos 253-26 a 253-27, el ángulo entre el brazo central y el vertical debe ser de al menos 30°.

El miembro transversal fijado al arco delantero no debe invadir el espacio reservado para los ocupantes.

Debe estar situado tan alto como sea posible, pero su borde inferior no debe estar situado por encima del punto más elevado del salpicadero.

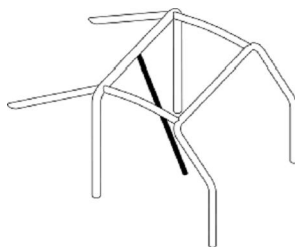
Para vehículos homologados a partir del 01/01/2007, no debe posicionarse por debajo de la columna de dirección.

8.3.2.2.6 Refuerzos de ángulo y unión (dibujos 253-31 a 253-34):

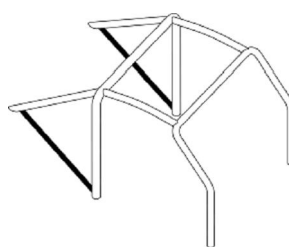
Los refuerzos deben estar hechos de tubos o chapa curvada en forma de U cumpliendo con el art. 253-8.2.14.

El espesor de los elementos que formen un refuerzo no debe ser menor de 1,0mm.

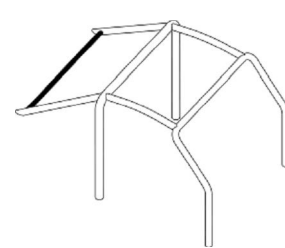
Los extremos de las barras de refuerzo no deben situarse a más distancia de la mitad de la longitud del miembro al que van unidos, a excepción de aquellos del arco delantero, que pueden unirse a las barras de refuerzo de las puertas y el arco delantero.



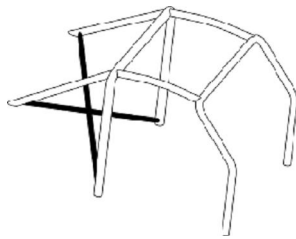
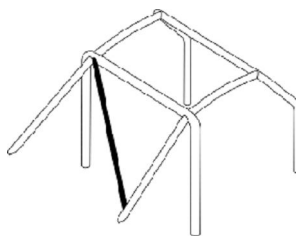
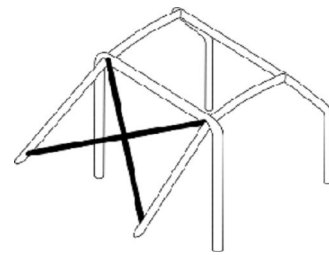
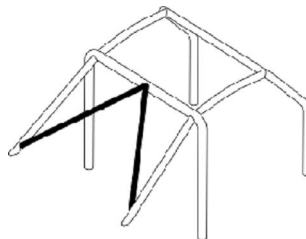
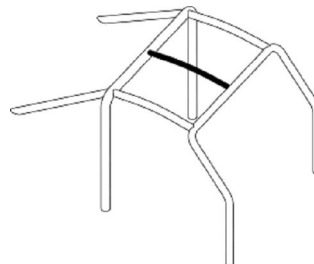
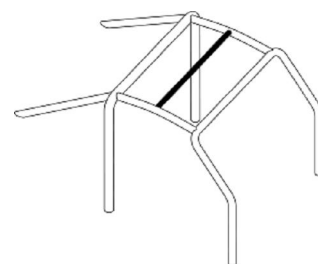
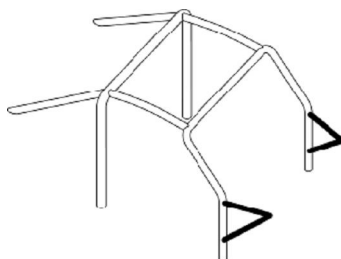
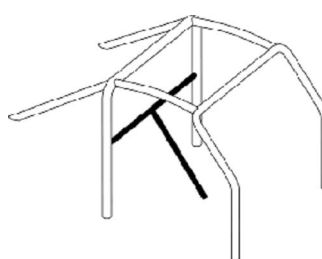
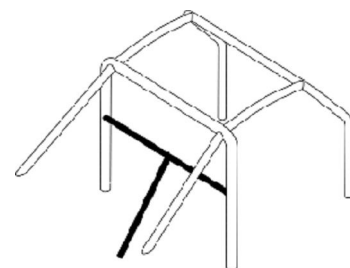
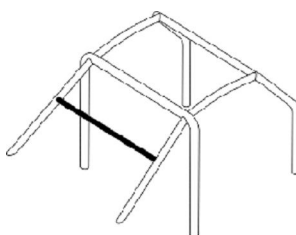
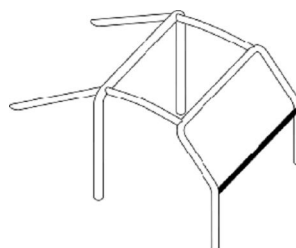
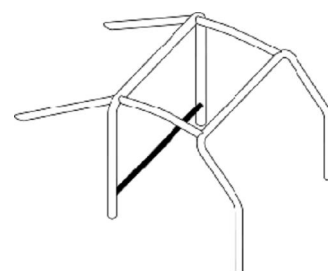
253-16

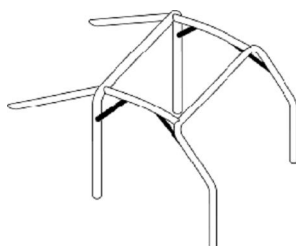
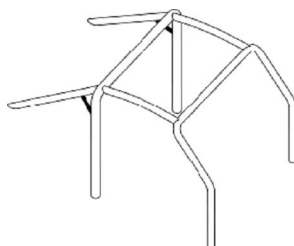
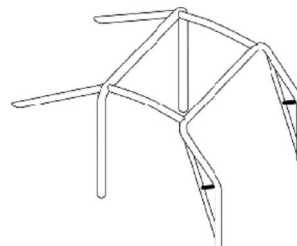


253-17



253-18

253-19253-20253-21253-22253-23253-24253-25253-26253-27253-28253-29253-30

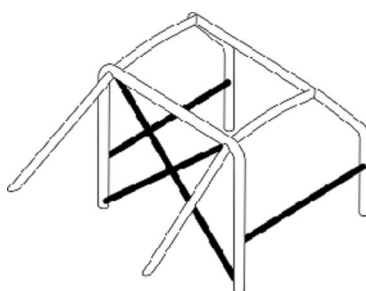
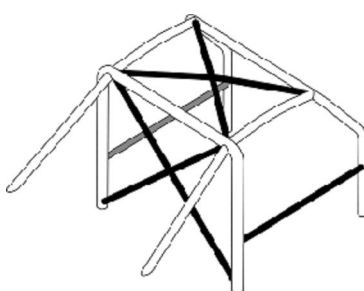
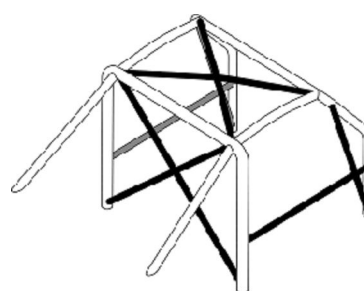

253-31

253-32

253-33

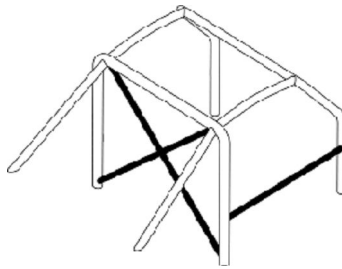
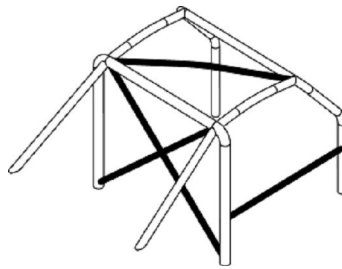
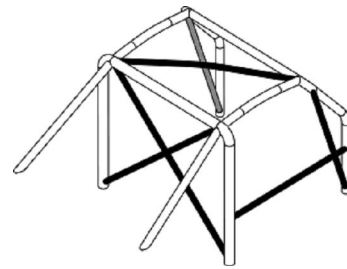
8.3.2.3 Configuración mínima de la estructura de seguridad:

La configuración mínima de la estructura de seguridad se define como sigue:

Vehículos Homologados en	Con copiloto	Sin copiloto
entre el 01.01.2002 y el 31.12.2004	Dibujo 253-35A	Dibujo 253-36A o simétrico
entre el 01.01.2005 y el 31.12.2005	Dibujo 253-35B	Dibujo 253-36B o simétrico
A partir del 01.01.2006	Dibujo 253-35C	Dibujo 253-36C o simétrico

Las barras de las puertas y los refuerzos del techo pueden variar de acuerdo con los artículos 253-8.3.2.1.2 y 253-8.3.2.1.3.


253-35A

253-35B

253-35C

253-36A253-36B253-36C

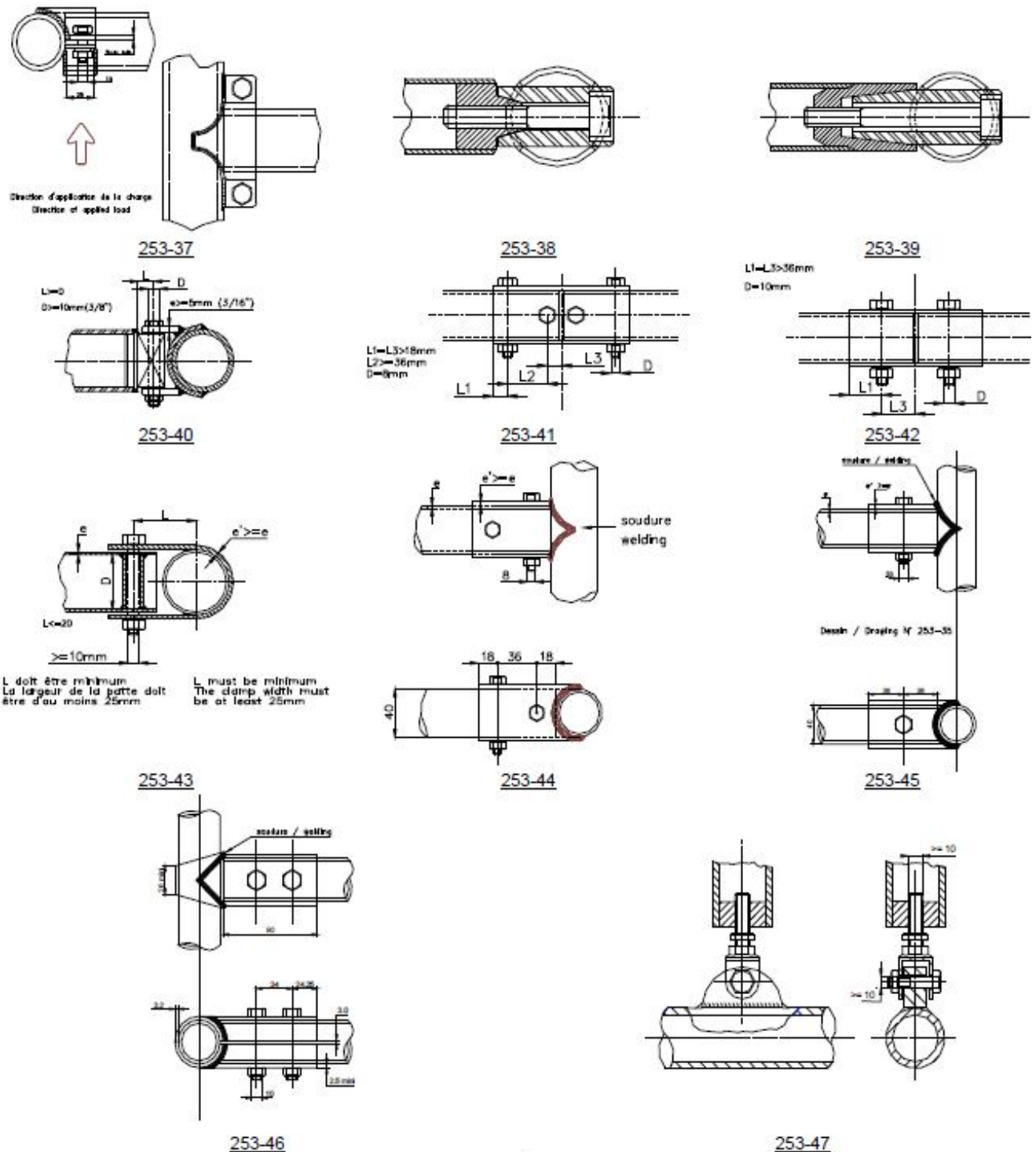
8.3.2.4 Tirantes desmontables:

Si se usan tirantes desmontables en la construcción de una estructura de seguridad, las conexiones desmontables utilizadas deben estar conformes con un tipo aprobado por la FIA (ver dibujos 253-37 a 253-47).

No podrán soldarse después de ensamblarse.

Los tornillos y las tuercas deben ser de una calidad ISO 8.8 o superior (norma ISO).

Las conexiones desmontables que cumplan con los dibujos 253- 37, 253-40, 253-43, 253-46 y 253-47 están reservadas solamente para fijar los tirantes y los refuerzos opcionales descritos en el artículo 253-8.3.2.2 y están prohibidas para unir las partes superiores del arco principal, del arco delantero, de los semiarcos laterales y de los arcos laterales.



8.3.2.5 Especificaciones complementarias:

Longitudinalmente, la estructura de seguridad debe estar completamente contenida entre los anclajes de los elementos de las suspensiones delanteras y traseras que soportan las cargas verticales (muelles y amortiguadores).

Los refuerzos suplementarios que excedan estos límites se autorizan entre la estructura de seguridad y los puntos de anclaje de las barras antibalaneo traseras en la carrocería/chasis.

Cada uno de esos puntos de anclaje puede ser conectado a la estructura de seguridad mediante un solo tubo de dimensiones de 30 x 1,5mm.

Para los vehículos homologados desde el 01/01/2002:

En protección frontal, los refuerzos de los ángulos y de las uniones de los ángulos superiores del arco delantero deben ser visibles únicamente a través de la superficie del parabrisas descrita en el dibujo 253-48.

Para todas las estructuras de seguridad de los vehículos de “Súper Producción” y “Súper 2000”, homologadas a partir del 01/01/2000, y para todas las estructuras de seguridad para vehículos de rallyes homologadas a partir de 01/01/2001:

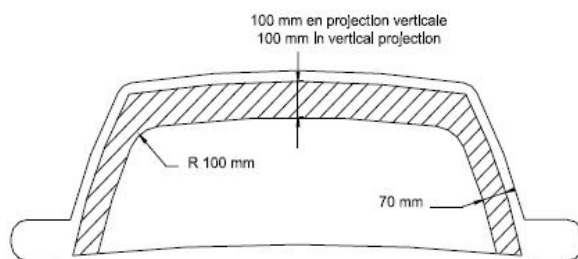
La apariencia de la estructura de seguridad en la abertura de la puerta debe cumplir con los criterios siguientes (ver dibujo 253-49):

Dimensión A debe tener un mínimo de 300 mm.

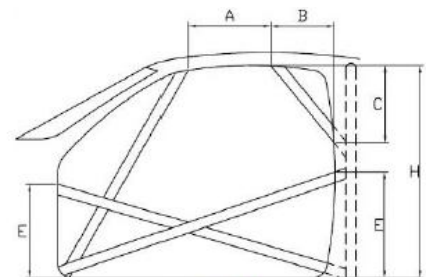
Dimensión B debe tener un máximo de 250 mm.

Dimensión C debe tener un máximo de 300 mm.

Dimensión E no debe ser superior a la mitad de la altura de la apertura de la puerta (H).



253-48



253-49

8.3.2.6 Puntos de anclaje de la estructura a la carrocería o chasis:

El mínimo de puntos de anclaje es:

- 1 para cada montante del arco delantero;
- 1 para cada montante de los arcos laterales o semiarcos laterales;
- 1 para cada montante del arco principal;
- 1 para cada tirante longitudinal trasero.



Para conseguir un montaje óptimo sobre la carrocería, el guarnecido original puede ser modificado junto a la estructura de seguridad o sus puntos de anclaje, recortándolo o modificándolo localmente.

Sin embargo, esta modificación no permite la eliminación completa de partes de la tapicería o guarnecido.

Donde sea necesario, la caja de fusibles puede ser trasladada para fijar la estructura.

Puntos de anclaje del arco delantero, arco principal, arcos laterales o semiarcos laterales:

Cada punto de anclaje debe incluir una placa de refuerzo, de un espesor de, al menos, 3mm.

Cada pie de anclaje debe estar fijado por, al menos, 3 tornillos en una placa de refuerzo de, al menos, 3mm de espesor y de, al menos, 120 cm² que estará soldada a la carrocería.

Para los vehículos homologados a partir del 01/01/2007, el área de 120 cm² debe ser la de contacto entre la placa de refuerzo y la carrocería.

Se muestran ejemplos en los dibujos 253-50 a 253-56.

Para los dibujos 253-50 y 253-52 la placa de refuerzo no necesita estar soldada necesariamente a la carrocería.

Los tornillos deben ser de, al menos, M8 de una calidad ISO 8.8 o mejor (norma ISO).

Las tuercas serán autoblocantes o dotadas de arandelas de bloqueo.

Recomendado a partir del 01/01/2009 y obligatorio a partir del 01/01/2010:

El ángulo entre 2 tornillos (medido con respecto al eje central del tubo al nivel del pie de anclaje, véase el dibujo 253-50) no debe ser inferior a 60 grados.

Puntos de anclaje de los tirantes traseros:

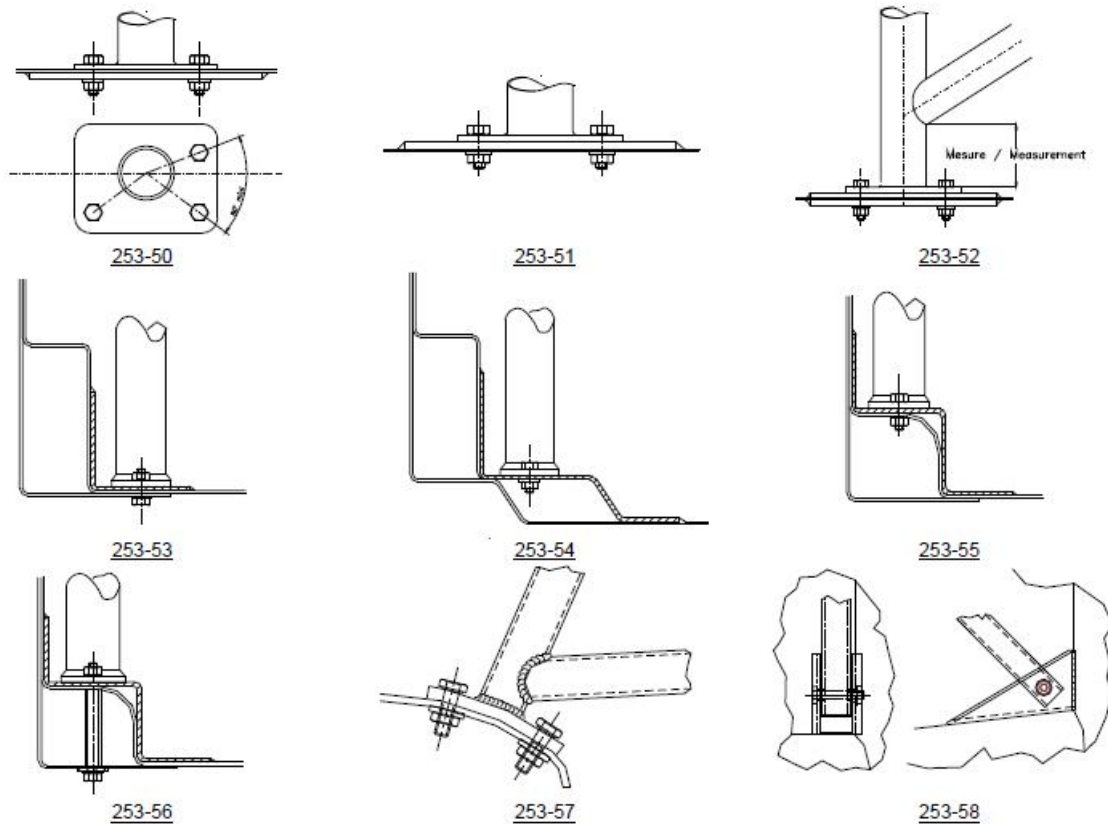
Cada tirante longitudinal trasero deberá fijarse con un mínimo de 2 tornillos M8 con las placas de refuerzo de un área de, al menos, 60 cm² (dibujo 253-57), o fijadas por un solo tornillo a doble cizalladura, (dibujo 253-58), bajo reserva de que sea de la sección y resistencia adecuadas y a condición de que se suelde un manguito al tirante.

Estas exigencias son las mínimas.

Como complemento podrán utilizarse fijaciones suplementarias, los pies de los arcos podrán soldarse a las placas de refuerzo, las estructuras (definidas por el art. 253-8.3.1) podrán soldarse a la carrocería/chasis.

Caso especial:

Para carrocerías/chasis que no sean de acero, cualquier soldadura entre la estructura de seguridad y la carrocería/chasis está prohibida, solo se permite el pegado de la placa de refuerzo a la carrocería/chasis.



8.3.3 Especificaciones del material

Sólo se autorizan tubos de sección circular.

Especificaciones de los tubos utilizados:

Material	Resistencia mínima ala tracción	Dimensiones mínimas (mm)	Utilización
Acero al carbono no aleado (ver a continuación) conformado en frío conteniendo un máximo del 0,3% de carbono.	350 MPa	45 x 2,5 (1,75" x 0,095") O 50 x 2,0 (2,0" x 0,083")	Arco principal o arcos laterales, según la construcción.
		38 x 2,5 (1,5" x 0,095") O 40 x 2,0 (1,6" x 0,083")	Semiarcos laterales y otras partes de la estructura de seguridad (a menos que se especifique otra cosa en los artículos

Nota: Para un acero no aleado, el contenido máximo de aditivos es de 1,7% para manganeso y de 0,6% para otros elementos. Al seleccionar el acero, debe prestarse atención a la obtención de buenas propiedades de elongación y adecuadas características de soldabilidad.

El curvado del tubo debe hacerse en frío con un radio de curvatura (medido en el eje del tubo) de, al menos, 3 veces el diámetro.

Si el tubo se ovaliza durante esta operación la relación entre el diámetro menor y mayor no será inferior a 0,9. La superficie al nivel de los ángulos debe ser uniforme sin ondulaciones ni fisuras.

8.3.4 Indicaciones para la soldadura:

Deberán cubrir todo el perímetro del tubo.

Todas las soldaduras deben ser de la mejor calidad posible y de una penetración total (preferentemente usando soldadura al arco en atmósfera de gas inerte).



Aunque una buena apariencia exterior no garantiza necesariamente la calidad de la soldadura, una soldadura de mala apariencia no será nunca señal de un buen trabajo.

En el caso de utilizar acero tratado térmicamente deben seguirse las instrucciones del fabricante (electrodos especiales, soldadura en atmósfera inerte).

8.3.5 Revestimiento protector:

En los lugares donde los cuerpos de los ocupantes puedan entrar en contacto con la estructura de seguridad debe instalarse un revestimiento protector no inflamable.

En aquellos puntos en los que los cascos de los ocupantes pudieran entrar en contacto con la estructura de seguridad, el revestimiento debe cumplir con la Norma FIA 8857-2001, tipo A (ver la Lista Técnica nº 23 "Revestimiento de Arco de Seguridad Homologado por la FIA").

Aplicación: Para todas las categorías.